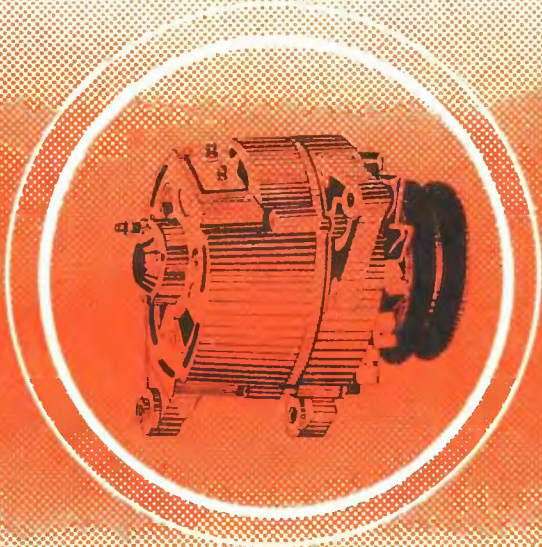
汽车交流发电机

（第二版）

长沙汽车电器研究所　编



人民交通出版社

汽车交流发电机

（第二版）

长沙汽车电器研究所　编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书从交流电产生的原理开始，通俗地介绍了汽车交流发电机和调节器的结构和工作原理，特别对国产主要型号的汽车交流发电机和调节器的结构性能，作了比较详细的介绍。此外，还介绍了晶体管元件的特性和整流原理，以及交流发电机的使用、故障检查和保养修理等方面的知识。本书供汽车驾驶员和修理工阅读参考。

本书初版由长沙汽车电器厂编写。

汽车交流发电机

（第二版）

长沙汽车电器研究所　编

人民交通出版社出版

（北京市安定门外和平里）

北京市书刊出版业营业许可证出字第006号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 1/32　印张：4.875　字数：106千

1975年1月　第1版

1980年8月　第2版　第8次印刷

印数：348,001—377,500册　定价：0.52元

目　录

绪论…… 1
第一章　汽车交流发电机的结构和原理…… 5
第一节　交流电产生原理…… 5
（一）　交流电的产生…… 5
（二）　交流电的特征…… 9
（三）　单向交流电……12
（四）　三相交流电……13
第二节　汽车交流发电机的结构……15
第三节　汽车交流发电机的工作原理……37
（一）　汽车交流发电机的发电原理……37
（二）　整流原理……40
第四节　汽车交流发电机的特性……48
（一）　汽车交流发电机的激磁方式……48
（二）　汽车交流发电机的特性……50
第二章　半导体元件……56
第一节　半导体的特性……56
第二节　N型半导体和P型半导体的导电原理……58
第三节　硅整流元件的整流原理……60
第四节　半导体二极管……63
（一）　汽车交流发电机用整流二极管……63
（二）　常用的一般二极管……68
（三）　稳压二极管……70

第五节　半导体三极管…… 73
（一）　三极管的工作情况…… 73
（二）　三极管的主要特性…… 78
（三）　三极管的型号和参数…… 80
（四）　三极管的简单检查方法…… 83
第三章　汽车交流发电机调节器…… 87
第一节　调节器的用途…… 87
第二节　调节器的工作原理…… 88
（一）　单级电磁振动式调节器的工作原理…… 88
（二）　双级电磁振动式调节器的工作原理…… 95
（三）　晶体管调节器的工作原理…… 99
第三节　充电信号指示装置及其继电器……102
第四节　国产交流发电机调节器的性能与结构……108
（一）　FT61型调节器 ……108
（二）　FT70型调节器 ……112
（三）　FT70A型调节器……115
（四）　FT61A型调节器……115
（五）　JFT121、JFT241型晶体管调节器……118
第四章　汽车交流发电机的使用和保养……126
第一节　汽车交流发电机的使用……126
（一）　汽车交流发电机的安装……126
（二）　汽车交流发电机的接线方法……128
（三）　使用注意事项……129
第二节　汽车交流发电机的故障及排除方法……132
第三节　汽车交流发电机的保养与修理……143
（一）　转子的修理……145
（二）　定子的修理……146
（三）　二极管的检查方法……146

绪　论

汽车发电机是用来对蓄电池进行充电和供给汽车上各种用电设备所需的电能，它输出的必须是直流电。长期以来，汽车上采用的发电机是换向式直流发电机。在这种发电机中，电枢（转子）绕组内感应的交变电流，靠整流子通过炭刷换向，改变为直流电流。在换向过程中，炭刷与整流子之间不免产生火花，这种火花引起炭刷与整流子的磨损和烧蚀。随着发电机转速的提高，火花愈来愈大，炭刷与整流子的磨损也就更为严重。这是直流发电机在结构上存在的主要缺点。

随着现代汽车的发展，汽车用电设备的数量不断增加，要求增大汽车发电机的输出功率；同时为了保证发动机有良好的起动性能及提高蓄电池的使用寿命，必须使蓄电池经常保持在充满电的状态，这就要求在汽车低速行驶时发电机也能对蓄电池进行充电。对于城市的公共汽车这种要求尤为迫切，因为城市的公共汽车低速行驶的时间较多，起动次数频繁，蓄电池放电量较大。直流发电机要提高输出功率并在汽车低速行驶时也能对蓄电池进行充电的话，就必须增大发电机的体积和重量，这样使原材料消耗增加，制造成本提高，并且造成在发动机上安装困难，拆装维修也不方便。另一方面，现代汽车发动机的转速变化范围很大，如果在发动机低速时，发电机满足了充电的要求，而在发动机高速时，发电机的转速便会很高，以致换向困难，炭刷与整流子之间的火花很大，甚至发电机不能正常工作。因此，传统的直流发电机不能适应现代高速发动机的要求。

从维修的角度来看，直流发电机由于炭刷与整流子容易磨损，所以保养周期较短，一般使用一万公里左右就要进行保养和修理。

综上所述，传统的直流发电机不能满足现代汽车发展的需要，因此，在汽车上开始采用交流发电机。

汽车上采用的交流发电机是三相同步发电机。由其定子绕组感应的交变电流，通过半导体整流器改变为直流电。有的国家在五十年代已开始把半导体整流的交流发电机应用到汽车上，当时采用的主要是硒整流元件。由于硒整流元件耐电压低，耐热性能差，体积较大，所以，用硒整流器的交流发电机没有得到广泛的应用。随着电子技术的发展，出现了半导体硅元件。用硅元件作整流器比硒元件有很多优点，它可以做得体积小、功率大、耐电压高、工作可靠；并且硅元件可以装到发电机内部。从六十年代初起，汽车交流发电机已普遍采用硅元件作整流器，因而得到了广泛的推广应用。由于这种发电机是用硅元件作整流的，故也有把这种发电机称为硅整流发电机。我国近几年来，在汽车上已成批使用这种用硅元件整流的交流发电机。

交流发电机与直流发电机相比，有许多优点：

1.体积小，重量轻，结构简单，维修方便，使用寿命长。例如解放牌载重汽车用的直流发电机，额定功率为250瓦，重量为11公斤；而现在采用的交流发电机，额定功率为350瓦，重量仅为4.8公斤，而其短时最大输出功率可达450瓦。如果把交流发电机的体积做得与直流发电机一样，则交流发电机的输出功率将大很多。由于交流发电机的转子结构简单，它的滑环与炭刷耐磨性很好，保养的周期比直流发电机长。硅二极管的使用寿命是很长的，一般为5000～10000小时。有磨损的零件仅为滚珠轴承，而滚珠轴承只要按规定周

期进行保养，则其使用寿命是很长的。所以，交流发电机的使用寿命要比直流发电机长。

2.在汽车低速行驶时，充电性能好。交流发电机的转子产生磁场（与直流发电机相反，后者的定子产生磁场），炭刷与装在转子上的滑环（即两个光滑的铜环）接触，通过的只是很小的磁场电流，炭刷与滑环的磨损很小，发电机的最大转速可以提高。这就可以提高发动机与发电机的传动比，故一般交流发电机的皮带轮做得比直流发电机的小，使在发动机较低速度运转时，发电机已达到一定的转速，可以输出电流，向蓄电池充电。当发动机高速运转时，发电机也能承受较高速度的运转。例如解放牌汽车上采用直流发电机时，传动比为1.5，采用交流发电机后提高至2。这样在汽车低速行驶时，发电机就可以向蓄电池充电。而直流发电机由于炭刷与整流子之间的火花与转速成比例地增大，所以传动比的提高受到限制，在汽车低速行驶时不能向蓄电池充电。

3.由于交流发电机的结构与直流发电机完全不同，它的比功率（即发电机每单位重量的功率数）大，可以节省大量金属材料与制造的加工工时，尤其是铜材的节约最为显著。例如，长沙汽车电器厂生产的一台350瓦JF13型交流发电机，比该厂生产的一台250瓦112型直流发电机，用铜量要节约近一公斤。汽车发电机是大量生产的产品，每年为国家节约的铜材是十分可观的。

4.由于炭刷与整流子之间有火花，直流发电机对周围的各种无线电接收机产生干扰杂音，影响无线电的接收效果。而交流发电机工作时没有整流火花，虽然在三相全波整流时还存在着很小的脉动电压，但杂音的干扰比直流发电机要小得多。

5.采用交流发电机后，相匹配的调节器的结构要简单得

多。原来配直流发电机的调节器有节压器、节流器和截流器三个组成部分，用交流发电机后只需一组节压器就可以了。因为交流发电机采用了半导体硅整流器，当发电机电压高于蓄电池电压时，就向蓄电池充电，而当发电机电压低于蓄电池电压时，二极管就起到阻止反向电流的作用，所以不需要截流器。另外，交流发电机有一种自身限制最大输出电流的性能，所以也不需要节流器。

6.在同一类型的汽车上，采用交流发电机的输出功率比原采用直流发电机的输出功率要大，且交流发电机还有较大的储备功率。汽车行驶时用电设备所消耗的电能都可以由发电机承担。另外，由于发动机低速时发电机也能向蓄电池充电，当发动机起动后，起动机从蓄电池中消耗的电能很快就被发电机所补充。所以，采用交流发电机后，选用的蓄电池的容量可以适当减小，它的外形尺寸也就相应减小。

图1表示解放牌载重汽车上采用交流发电机的输出功率曲线与原采用直流发电机的输出功率曲线的比较。从图中曲线可以看出，交流发电机的起始发电转速比直流发电机低，并且最大输出电流比原直流发电机大得多。

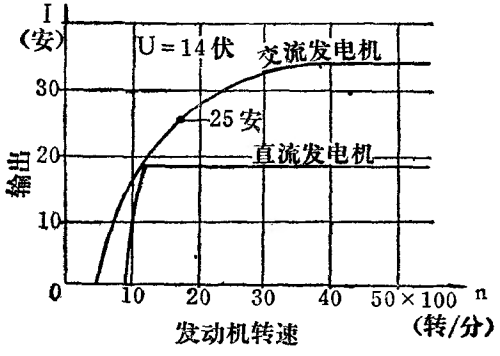


图1　交流发电机与直流发电机的功率输出比较曲线

第一章　汽车交流发电机的结构和原理

第一节　交流电产生原理

（一）交流电的产生

直流电与交流电的基本区别在于直流电的方向是始终不变的，交流电的方向则是随时间不断变化的。如果有一导线在磁场中运动，则由于导线切割磁力线，导线中就产生电

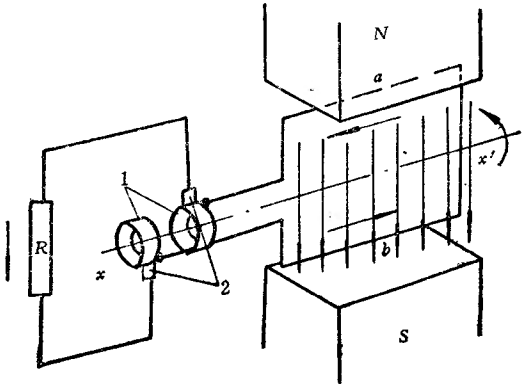


图 2　交流电的产生
1-滑环；2-炭刷

流。图 2 表示有一线圈 *ab* 在磁场中绕 *xx'* 轴旋转，线圈的两端接在两个铜制的滑环 1 上，铜环上有两个炭刷 2 引到负

256269

荷电阻 R 上。当线圈的 a 边在 N 极附近切割磁力线时，另一 b 边在 S 极附近切割磁力线，a 边与 b 边都感应出电流。电流的方向与线圈旋转运动的方向及磁力线的方向有关。它们的相互关系可用右手定则表示，如图 3 。

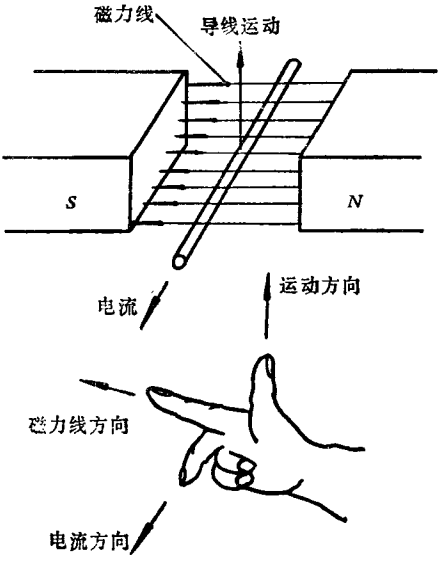


图 3　右手定则

导线在 N、S 极之间旋转一整周，则在导线内感应的电流就交变一次。

在单位时间内（1 秒）交变电流的次数，叫做交流电流的频率，常用字母 f 表示。它的单位是周/秒，或叫赫芝。

频率的倒数，表示交变电流每变动一周所经过的时间，叫做周期，用字母 T 表示。它们的关系是：

$$\text{周期} = 1/\text{频率}，\text{或 } T = 1/f$$

上面所说的交变电流，是指只有 1 对磁极的情况下而言的，即 a、b 两边的导线绕 xx' 轴旋转一转，产生一个周期的

交变电流。如果要产生50周/秒，则必须每秒旋转50转。

如果增加几对磁极，则要产生50周/秒的交变电流，导线绕轴旋转就不需要每秒50转了。实际上各种交流发电机都是做成多极的。如果是2对磁极，则每秒旋转25转就可得到50周/秒的交变电流。因为每旋转半周就可得到1个周期的交变电流。每旋转1周，就可得到2个周期的交变电流。

导线在磁场中运动时感应出的电动势的大小，取决于磁场的磁感应强度（即磁场中垂直通过单位面积的磁力线多少的程度）、导线的长度、导线切割磁力线的速度和角度。感应电动势的方向，则取决于磁力线的方向和导线切割磁力线的运动方向（或磁场的磁力线切割导线的方向）。当长度一定的导线在均匀的磁场中以一定方向作等速旋转时，所产生的感应电动势就只和导线切割磁力线的角度有关。

从图4甲可看出，当导线位置在1时，因为导线的运动

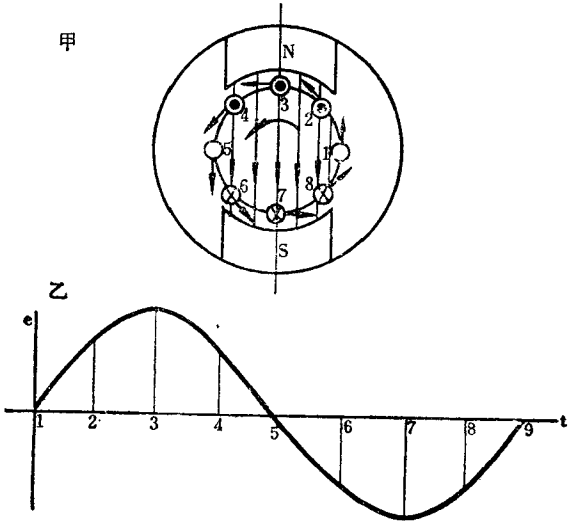


图4　单向交变电动势

方向与磁力线平行，正好是沿磁力线方向滑过去，并不切割磁力线，所以不产生感应电动势。

当导线位置在2时，导线以斜的方向切割磁力线，产生一定的感应电动势；当导线在位置3时，导线旋转到磁极中间，导线的运动方向和磁力线垂直，产生的感应电动势最大。经过3以后，导线切割磁力线的方向又偏斜，因此产生的感应电动势也逐渐减少；到位置5时，导线感应的电动势又减到零。

导线经过5以后，便转入另一个磁极下，因为切割磁力线的方向与前半周的方向相反，所以感应电动势的方向也相反。这时感应电动势又跟着切割磁力线的角度逐渐增大，到位置7时，产生的反方向感应电动势达到最大值。随后，电动势又逐渐减小，当导线转到原来的起点位置时，感应电动势又减到零。如果我们把导线在磁场中旋转时不同位置所感应的电动势，按比例绘在坐标线上，在垂直方向绘出感应电动势的大小，规定一个方向的电动势为正，相反方向的电动势为负，就可按照感应电动势的大小绘出一条有规律的曲线，如图4乙所示。这一曲线叫做正弦曲线。

如果切割磁力线的导线绕轴旋转的转速是n转/分，则每秒的转速是$n/60$，对于一对磁极的情况来说，频率与转速的关系是：

$$f=\frac{n}{60}$$

对于多极的情况来说，频率与转速的关系是：

$$f=\frac{pn}{60}$$

式中：p——磁极的对数。

（二）交流电的特征

在直流电路中，电流的大小可以根据欧姆定律来计算，即 $I=\frac{U}{R}$。电流等于电压被电阻除所得的高。在交流电路中，有时却不能这样计算，而要看交流电所接负载的性质。如果所接负载仅仅是电阻 R（图5甲），则交流电流与交流

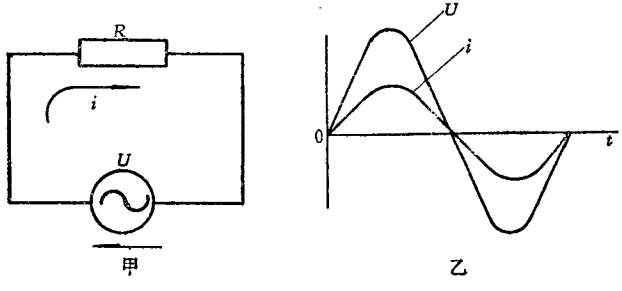


图5　纯电阻回路

电压同时变化。当电压达到最大值时，电流也达到最大值；电压到零时，电流也到零；电压在负方向时，电流也在负方向（如图5乙）。这种电流与电压同时变化，我们称电压与电流同相位。电流值的计算仍可用欧姆定律。

如果所接的负载是线圈（图6甲），线圈是一种电感。当交流电加到线圈时，线圈对交流电的通过产生一种阻力，限制线圈内电流的通过。这种阻力，我们叫做感抗。线圈的感抗值比它的直流电阻值要大很多倍。所以，电感线圈限制交流电的作用要比限制直流电的作用大多了。

为什么电感线圈会对交流电的通过产生这种阻力呢？这可以用自感电动势的道理来说明。交流电流通过电感线圈时，在线圈内就产生变化的磁场，变化的磁场会产生自感电

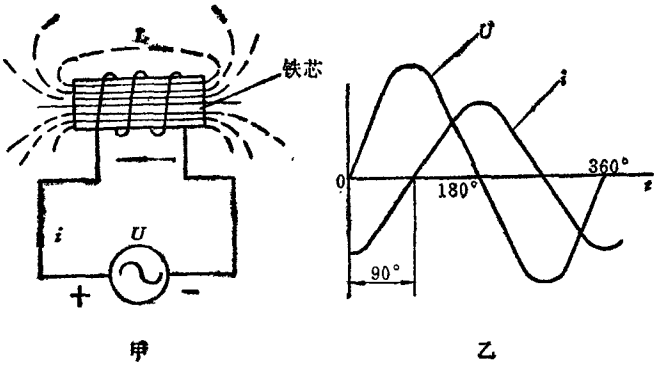


图 6　接有电感线圈回路

动势，这个自感电动势总是阻止通过电流的变化，因而，电感线圈对交流电的通过产生了阻力。当线圈内有铁芯时，磁力线增多，因而就有更多的磁力线发生变化，自然会产生更大的自感电动势，从而使阻力显著地增大。

因此，在交流电路中不但是电阻对电流的通过有阻力，而且电感线圈也对电流的通过产生阻力。电感线圈产生的感抗用 X_L 表示。它的大小决定于磁力线的多少和变化的快慢。线圈的圈数越多，线圈中的铁芯截面越大，则在交流电路中的感抗值越大。它们的关系是：

$$X_L = 2\pi fL$$

式中：X_L——线圈的感抗；

f——交流电的频率；

L——线圈的电感。

可见，线圈的电感量越大，交流电的频率越高，它的感抗值越大，对交流电通过的阻力就越大。

在交流电路中通过电流的大小可用下式表示：

$$I=\frac{U}{Z}=\frac{U}{\sqrt{R^2+X_L^2}}$$

式中：U——交流电源的电压；

Z——线圈总的阻抗；

R——线圈的电阻值。

也就是说，交流电流 I 与电压 U 成正比，与交流电频率 f 及线圈电感量 L 成反比，可用下式表示：

$$I\sim\frac{U}{fL}$$

上面讲到，通过电阻的电流与加在电阻上的电压都是正弦波形的，而且它们的瞬时都是同时增大和减小的。即通过电阻的电流和加在电阻上的电压波形是同相位的。

通过电感线圈的电流与加在线圈上的电压也都是正弦波形的，但它们的最大值不是同时出现（图 6 乙），电流和电压不是同相位而是落后一个角度，$\varphi=90°$。也就是说，电流比电压滞后1/4周期，电压值最大时，电流值为零；电流值最大时，电压值为零。

如果所接的负载是电容器（图 7 甲），电容器通不过直

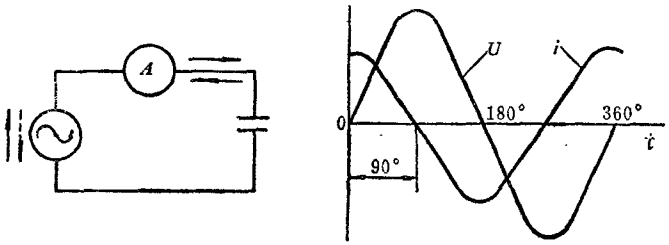


图 7　接有电容器的电路

流电，而交流电可以通过。当我们把一个适当大小的电容器与一只灯泡串联，加上交流电压后，灯泡就亮。

交流电加到有电容器的电路里时，因交流电正、负方向变动，就交替地对电容器进行充电、放电，充电时电容器吸收能量，放电时又把电场能量还给电源。这样，交流电虽然不直接通过电容器，而充电放电的电子就在电容器的引出线流动，形成持续不断的电流。电流的大小与电容器的容量 C、交流电的频率 f 成比例，可用下式表示：

$$I \sim CfU = \frac{U}{\frac{1}{Cf}}$$

式中 $\frac{1}{Cf}$ 相当于欧姆定律中的阻抗，这里叫做容抗。

通过电容器引出线的电流和加在它上面的电压也是正弦波形的，但最大值不是同时出现，电流比电压在时间上领先一个角度，$\varphi = 90°$，也是1/4周期。

（三）单向交流电

上面讲到，交流电的产生是导线在磁场内运动，导线内得到交变电流。如果导线不动，而磁场相对导线旋转，则导线内也同样可以得到交变电流。如图8，磁场每旋转一转，

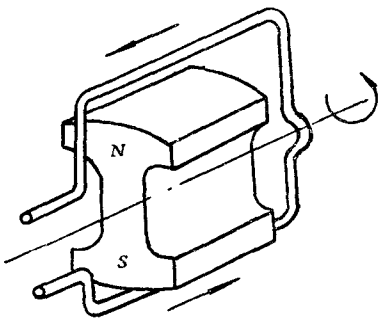


图8　单向交流电的产生

导线内就得到一次交变电流。如果导线不是一条，而是一组，则在一组导线内就可得到单相交流电。这就是最简单的单相交流发电机。图9表示磁铁旋转一周时，在一个绕组内

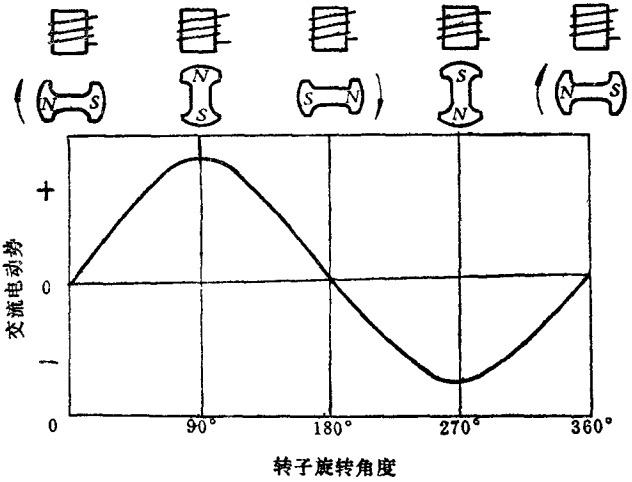


图9　当磁铁旋转一周时感应交流电动势的波形

感应产生的一个周波交流电动势的情形。图中仅有一对N、S磁极，如果旋转的磁铁有两对，则旋转半周时，便可得到同样的一个周波的电动势。磁极的对数越多，则周波数越多。其频率与转速的关系如同第一节所述的一样$f=pn/60$。

（四）三相交流电

如果在一只发电机的电枢上绕几个绕组，则发电机磁场旋转时，几个绕组可以产生频率相同的交变电动势。

图10甲表示一只最简单的三相交流发电机。这个发电机的定子有三个绕组A—X、B—Y和C—Z。三个绕组在发电机的定子上彼此相隔120°，即2/3极距（沿定子的内圆，从北极到南极之间的距离就是极距）。发电机的转子p上绕有

磁场线圈，有北极（N）和南极（S）。

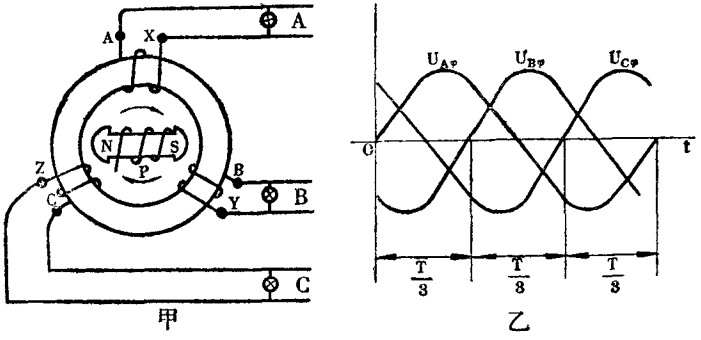


图10　最简单的三相交流发电机

当发电机的转子旋转时，在定子的三个绕组内就产生感应交流电动势。在三相交流发电机中，每个绕组的电路称为相。由于三个绕组在定子上的位置不同，在相位上相互间相差$\frac{2}{3}\pi$，或$\frac{1}{3}$周期。每一相绕组都能在转子转动时产生按正弦波变化的交流电动势。图10乙表示这三相交流电动势的变化情况，图中以第一相A—X绕组的电动势由零值开始上升时作为起点；第二相B—Y绕组的电动势比第一相滞后120°或$\frac{1}{3}$周期；第三相C—Z绕组的电动势又比第二相的滞后$\frac{1}{3}$周期（也可以说，第三相的电动势比第一相越前$\frac{1}{3}$周期），如此一相接一相地产生按正弦波变化的电动势。每相绕组本身二端形成的电压，称为相电压，常用字母U_φ表示，如图中$U_{A\varphi}$、$U_{B\varphi}$、$U_{C\varphi}$。如果A、B、C三相电路的绕组相等，则相电压的值均相等。

把三相发电机各绕组的末端连在一起，作为各相绕组的

中性点，就是通常所说的星形接法。汽车交流发电机通常都是采用这种接法，如图11所示。发电机定子绕组二始端间的电压称为线电压，或称相间电压。线电压等于相电压的$\sqrt{3}$=1.73倍，即：

$$U_x=\sqrt{3}U_\varphi$$

式中：U_x——线电压；

U_φ——相电压。

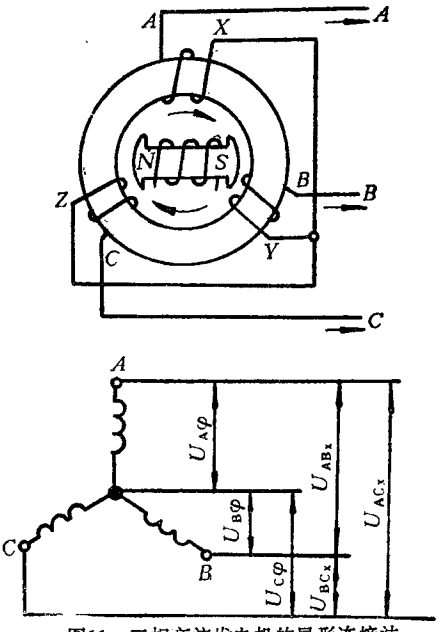


图11　三相交流发电机的星形连接法

第二节　汽车交流发电机的结构

汽车交流发电机作为汽车的一种电源，系由三相同步发电机、硅整流器及电压调节器（振动式或晶体式）三部分组成。它们的连接方式如图12所示。

交流发电机在还有达到工作电压时（即在很低速度运转时），它的磁场是他激的，由蓄电池供给激磁绕组电流。当开始发电后是自激的。点火开关6接在激磁绕组-调节器-蓄电池的回路中。当接通点火开关时，蓄电池的电通过调节器的触点流到发电机的激磁绕组。平时断开点火开关，蓄电池不会向发电机放电。

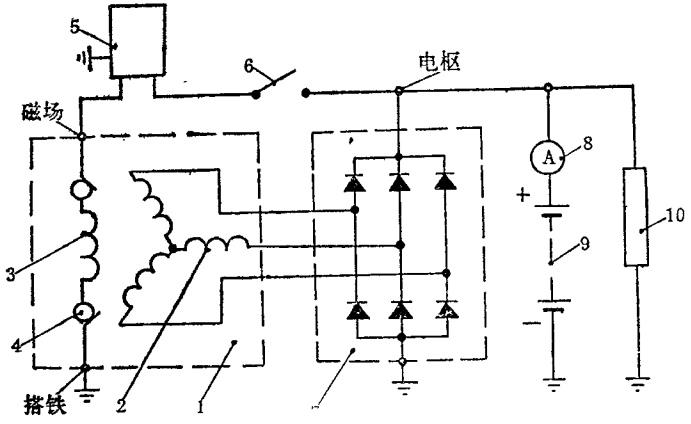


图12　汽车交流发电机装置接线图

1-交流发电机；2-定子绕组；3-磁场绕组；4-滑环；5-调节器；6-点火开关；7-整流器；8-电流表；9-蓄电池；10-负载

汽车用三相同步发电机的基本作用原理与前面所述的三相交流发电机相同，但它在结构上与一般工业用凸极式交流发电机不同。汽车用三相同步发电机的磁场是采用鸟嘴形磁极，

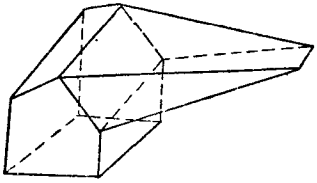


图13　鸟嘴形磁极

如图13，磁极的形状像鸟嘴。这种磁极可以使定子感应的交流电动势近似于正弦曲线波形。

每个磁极的磁通经转子的铁芯（即磁轭）回合，形成发电机的总磁通。总磁通等于一个极性所有磁极的磁通总和。这样就可以采用一个简单的激磁绕组，绕在转子的铁芯上，所以只消耗少量的铜线。

激磁绕组的末端接在滑环上，此滑环装在转子的轴上。

图14为汽车用交流发电机的结构示意图。目前，国产的汽车交流发电机或进口的国外汽车交流发电机，它们的基本结构是相同的。根据各种汽车使用要求的不同，各工厂生产的交流发电机在具体结构的设计上有所不同。如通常使用的汽车交流发电机带有离心式风扇，可以抽风，空气从炭刷端盖处进，从风扇处出，把电机绕组产生的热带走。在使用环境灰尘较多的地方，发电机做成防尘型；拖拉机上使用的交流发电机，为防止泥土、水滴浸入电机内部，把电机做成封闭型。根据发电机功率的大小及在汽车上受到振动程度的不同，它的安装方式有单挂脚、双挂脚及无挂脚（即采用抱持式）等几种。

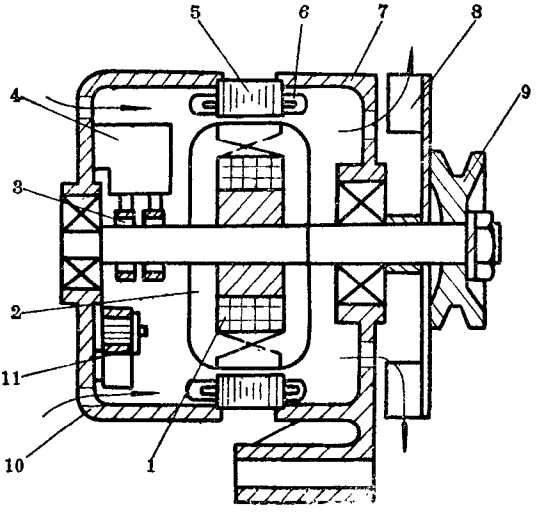


图14　汽车用交流发电机结构示意图

1-激磁绕组；2-鸟嘴形磁极；3-滑环；4-炭刷架；5-定子；6-定子绕组；7-驱动端盖；8-风扇；9-皮带轮；10-炭刷端盖；11-整流器

发电机的转子是电机的磁场部分（直流发电机的磁场是在定子上）。它主要由激磁绕组、磁极和滑环组成。单个磁

极的形状像鸟嘴形，但它的整体像一个爪子。所以一个极性的整体磁极也称爪极。磁极数目有4对、5对、6对、7对等，各工厂设计得不一样。我国目前生产的汽车交流发电机大多采用6对磁极，即转子每旋转一转，定子的每相电路上能产生6个周波的交流电动势。例如长沙汽车电器厂及上海汽车电机厂生产的JF系列350瓦交流发电机，都是做成6对磁极的，它的形状如图16所示。磁极是用低碳钢板冲制成基本形状后再加工而成的，也可以用精密铸造办法(即失蜡铸造）浇铸。每台电机有二个爪极，它们的中间放激磁绕组，压装在滚有花纹的轴上。这样当激磁绕组通电后，一个爪极形成南极，另一个爪极形成北极。如图15，二个爪极内表面与激磁绕组中的磁轭(铁芯)必须贴得很紧，二个爪极的鸟嘴形磁极之间的间隙要均匀。否则，激磁绕组中产生的磁通在它们中间要产生漏磁，影响发电机的性能。所以，在制造时，爪极孔与内表面的垂直度及磁轭孔与二平面的垂直度是很重要的。磁轭也是由低碳钢加工制成。用低碳钢的目的是其导磁性能好，使有更多的磁力线在磁极中通过。图16表示爪极形转子的部件。

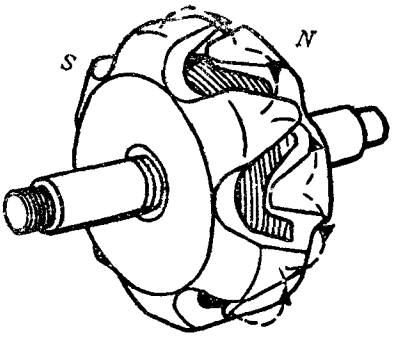


图15　6对磁极的爪极形转子磁力线

转子上的滑环（也称集电环）是由二个彼此绝缘的铜环组成，中间的绝缘材料一般使用玻璃纤维塑料。滑环可以用铜管加工而成，也可以用铜板拉伸冲制而成，与玻璃纤维塑料或其他有一定机械强度并能耐热的塑料压成一体后，再压

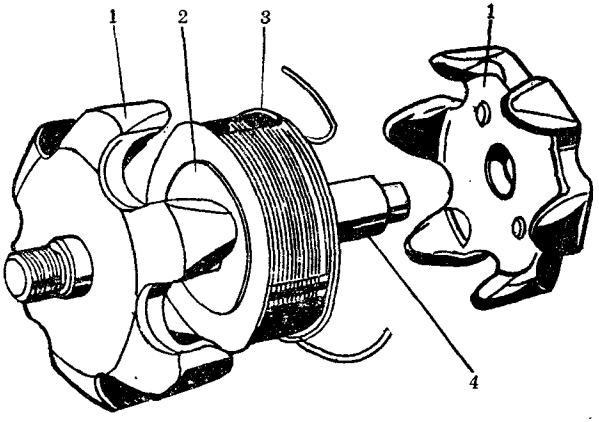


图16　爪极形转子部件
1-爪极；2-磁轭；3-激磁绕组；4-轴

装到轴上。这个滑环与装在炭刷端盖上的二个炭刷接触，用接线柱引到发电机外部。

定子是由冲有槽的牌号为D11或D21的硅钢片叠成，硅钢片的厚度一般为0.5～1毫米。硅钢片的叠成方法根据各工厂生产工艺的不同，有的采用焊接，有的采用铆接。一般用

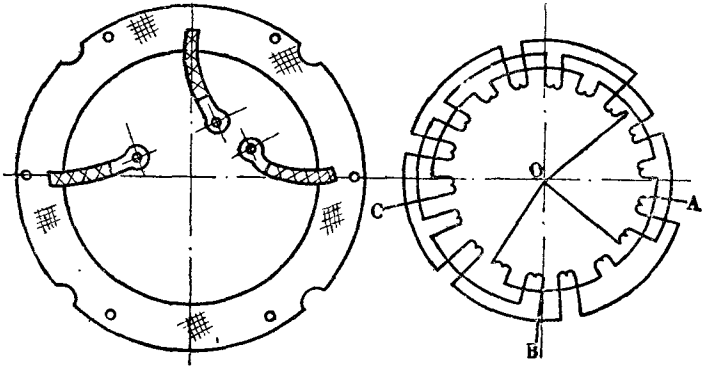


图17　定子绕组外形图

0.5毫米硅钢片叠成的定子，在二边需要加厚度为2毫米左右的钢板作端片，以防止定子的变形。用1毫米硅钢片叠成的定子，由于刚性较好，不一定需要加端片。定子的槽内安放三相绕组，图17是三相定子绕组的外形图。先将每相绕组单独绕好，再分别放入相应的定子槽内。任何形式的定子槽均需有0.3～0.5毫米厚的绝缘层，绝缘层一般采用青壳纸，也有的采用环氧涂敷，把环氧粉末涂在定子的槽内，代替常用的青壳纸，可以提高槽内绝缘性能，但需要有专门设备。定子绕组及激磁绕组的导线采用QZ牌号的高强度聚脂漆包线。三相绕组放入定子的槽内后，要用玻璃布板或用竹子制成的槽楔固定，如图18所示。

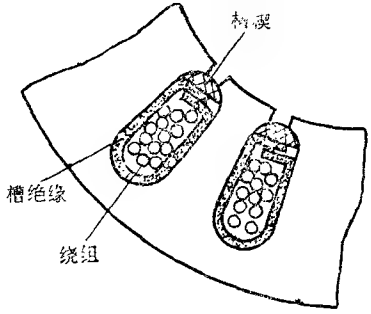


图18　定子槽的填充

激磁绕组、滑环、爪极压装到轴上及三相绕组嵌入定子槽内后，均须浸绝缘清漆，以提高绕组的绝缘性能、机械性能及散热性能。目前各工厂一般使用1030或1032牌号的绝缘清漆，也可以用其他牌号的绝缘漆。

发电机的端盖7和10（图14）是用铝合金压铸或用砂模铸造而成，因为铝合金是非导磁材料，如果用黑色金属要产生漏磁，影响发电机的性能。为提高轴承孔的机械强度，增加其耐磨性，有的发电机端盖的轴承座镶有钢套。例如长沙汽车电器厂生产的JF系列交流发电机的前后端盖轴承座，均镶有2毫米厚的钢套，这些钢套是在端盖压铸过程中镶进去的。在炭刷端盖内装有用酚醛玻璃纤维塑料模压成形的热固

性材料或用玻璃纤维增强尼龙等注射成形的热塑性材料制成的炭刷架。对炭刷架的材料，要求有一定的机械强度，在高温时不变形，低温时不脆裂。炭刷架内装有二个螺旋形压力弹簧，分别压住二个炭刷，使炭刷与滑环可靠接触。目前，国产的交流发电机炭刷架有二种结构，一种是炭刷的拆装、更换在电机外部进行（如图19甲）；另一种炭刷的拆装、更换在电机内部进行（如图19乙）。二种不同结构的炭刷架使用的炭刷及压力弹簧是相同的，可以互换。在炭刷端盖内还装有三个负极的二极管（有关二极管的结构原理见第二章）。二极管底座的外圆是滚花的，与发电机端盖相应的孔中轻压配。二极管通电时产生的热量通过端盖散去，所以二极管的外壳必须与端盖的孔有良好的接触。

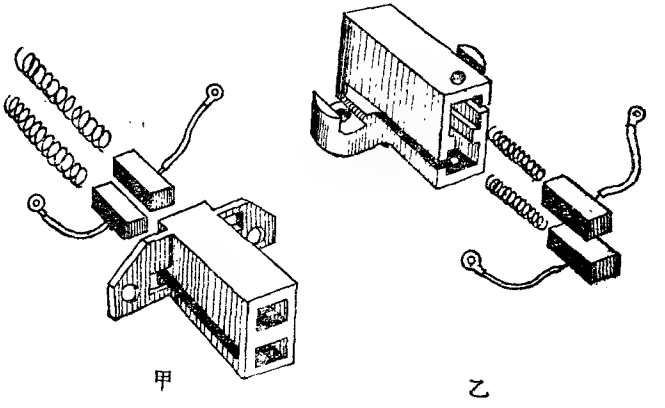


图19　炭刷架结构

发电机的炭刷端盖周围有进风口，驱动端盖有出风口。皮带轮9与风扇8（图14）一起旋转时，就使空气从后端盖进风，经电机内部从驱动端盖出风，冷却发电机的定子绕组及转子的激磁绕组。风扇一般是用钢板冲制或用铝合金压

铸，皮带轮用铸铁或用钢板制成。

大多数汽车交流发电机的整流器是由6只硅二极管组成，3只负极管子装在后端盖上，另三只正极管子装在一块整体的散热板上，称为元件板，如图20所示。6只二极管组成三相桥式全波整流电路。元件板也是用铝合金压铸而成，与后端盖用尼龙或其他绝缘材料制成的垫片隔开。从元件板引一接线柱至发电机外部，作为发电机的正极，即为电枢接线柱。发电机的外壳作为负极。直流电流从发电机的电枢接线柱输出，经汽车用电装置后至汽车车身，到发电机外壳，形成回路。根据JB515-77《汽车、拖拉机用电气设备基本技术条件》规定，我国汽车电系应为负极接地，故国产的汽车交流发电机均为负极接地。

图21为上海汽车电机厂生产的JF11（14伏、350瓦）、JF12（28伏、350瓦）型交流发电机的结构图。

驱动端盖1与后端盖2是靠三个M5螺栓连接的。驱动

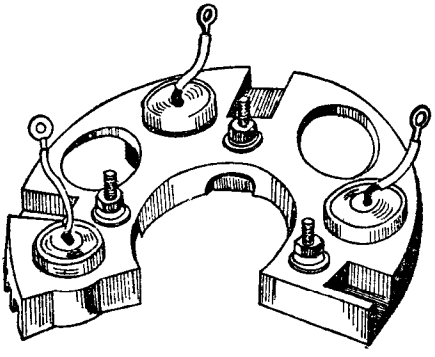


图20　元件板外形

端盖有一个挂脚，发电机靠这个挂脚及其调整皮带松紧用的吊耳紧固在发动机上。驱动端盖内装有203号滚珠轴承，二边用毛毡圈油封挡油。风扇3是用厚1.5毫米的钢板冲制而

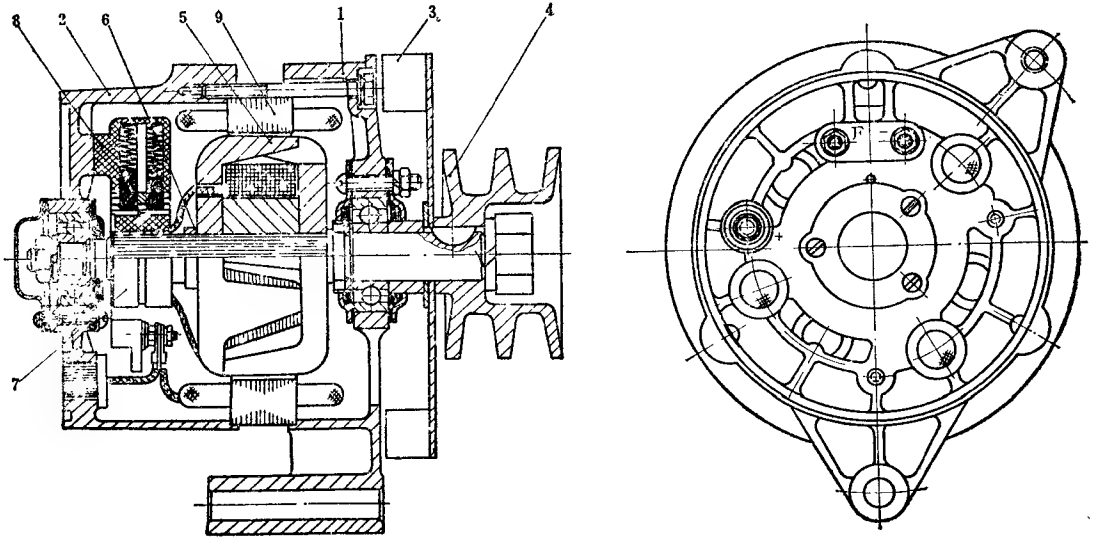


图21　JF11、JF12型交流发电机结构图

1-驱动端盖；2-后端盖；3-风扇；4-皮带轮；5-转子；
6-紧圈；7-滑环；8-炭刷架；9-定子

成，有13个风叶。皮带轮4用铸铁翻砂加工成形。磁场部分5是由6对磁极组成，激磁绕组预先绕在尼龙骨架上，再套在磁轭上。图中6是一紧圈，以防止爪极在轴上松动。滑环7压装在轴上，激磁绕组的二引出端分别焊在二个滑环上。炭刷架8装在发电机内部。三相绕组嵌在定子9内。后端盖2有3个负极的二极管，压装在3个孔中，外壳就成为发电机的负极。电枢接线柱是发电机的正极。201号轴承最后装到后端盖内。为使维修方便，轴与轴承的配合是松的，靠轴的尾部一个螺母紧固。这样当拆开发电机维修，或更换轴承时，只须将这个螺母拧下，并拆下联结前后端盖的三个螺钉，发电机的转子就很容易从后端盖上分离。轴承的一边有油毡挡油，另一边有轴承盖，在轴承盖与后端盖之间有一纸垫，以防止漏油。轴承需要加油时，只要将此轴承盖打开即可。图中“F”是磁场接线柱，是从发电机内部一个炭刷引出来的，与发电机的外壳绝缘。此接线柱引一导线接至调节器的磁场接线柱上。“-”是接地接线柱，是从发电机内部另一个炭刷引出来的，接到调节器的接地接线柱。“+”是输出接柱。这种发电机只有一个挂脚在发动机上固定，所以也称单挂脚发电机。

图22是长沙汽车电器厂生产的JF13（14伏、350瓦）、JF23（28伏、350瓦）型交流发电机的结构图。这种交流发电机的结构与上述JF11、JF12型交流发电机基本相同，它也是单挂脚的，只用一只挂脚固定在发动机上。驱动端盖1与后端盖2用四个M5螺栓连接。风扇3是用厚2毫米的钢板冲制而成。磁场采用6对磁极，激磁绕组4预先绕在一个尼龙骨架上，线圈的二端穿过爪极的二个出线孔再焊到二个滑环上。爪极的二个出线孔套有尼龙绝缘圈，以防止引出线与爪极搭铁。驱动端盖内用203号轴承，后端盖内用201号轴

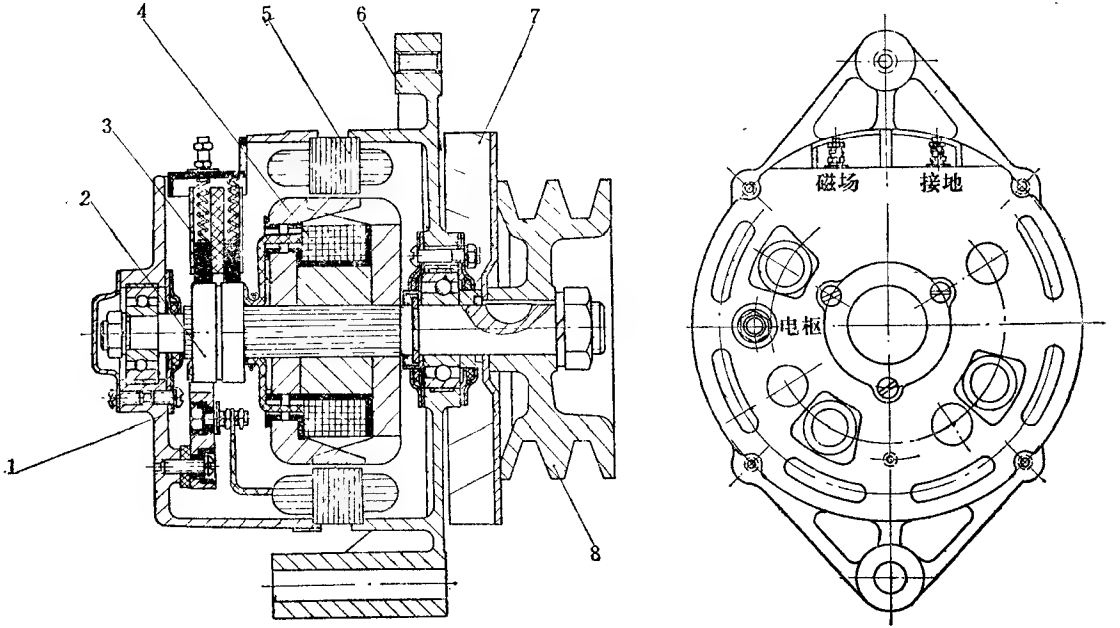


图22　JF13、JF23型交流发电机结构图

1-后端盖；2-滑环；3-炭刷架；4-激磁绕组；5-定子；6-驱动端盖；7-风扇；8-皮带轮

承，轴承与轴颈的配合也是松动的，靠轴尾部一个螺母紧固。当需拆开发电机维修时，只要将此螺母拧下，并把连接前后端盖的四个M5螺栓拆下，轻击发电机的端盖，电机的转子与定子就很容易分离。这种发电机的炭刷架结构与JF11型不同，它可以从发电机外部拆装、更换炭刷。当需更换炭刷时，只要将炭刷盖板的紧固螺母拧下，炭刷架内的二个压力弹簧就能自动地把盖板顶出来，炭刷即很容易取出，不需要别的辅助工具。驱动端盖及后端盖的轴承孔镶有钢圈。JF13型发电机与JF11型发电机的性能是一样的，所不同的只是发电机直径。JF13型发电机的直径比JF11型发电机大，但它的长度比JF11型发电机短，这主要是因为长沙汽车电器厂生产的350瓦发电机与该厂生产的500瓦、750瓦发电机的直径采用同一尺寸、同一机座，只在长度上有所差别，这样可以提高零件的通用性。

上海汽车电机厂生产的JF21（14伏、500瓦）、JF22（28伏、500瓦）型发电机的结构与该厂生产的JF11、JF12型发电机的结构完全一样，区别是发电机直径比JF11、JF12型大，定子三相绕组的匝数、线径及磁场绕组的匝数、线径不同。

长沙汽车电器厂生产的JF25（28伏、500瓦）型发电机与该厂生产的JF13、JF23型发电机的结构及发电机直径完全一样，只是比JF13、JF23型发电机长一些，定子三相绕组的匝数、线径及磁场绕组的匝数、线径不同。JF152（14伏、500瓦）型发电机的尺寸与JF25型相同，所不同的是双挂脚及绕组参数。

图23是上海汽车电机厂生产的1JF750（14伏、750瓦）、2JF750（28伏、750瓦）型交流发电机的结构图。发电机的结构与该厂生产的JF11、JF12型基本相同，系在500瓦发电

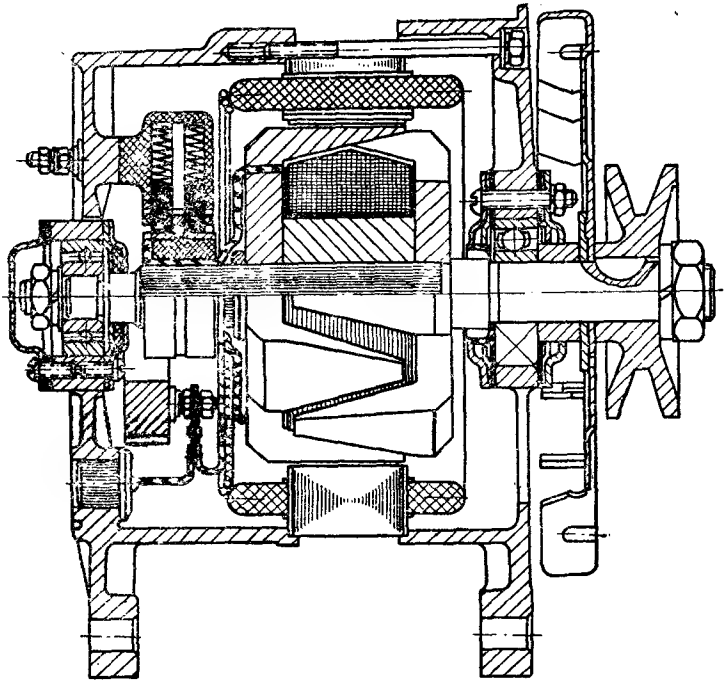


图23　1JF750、2JF750型交流发电机结构图

机的基础上将长度增加，使其达到额定功率，定子及转子的参数与500瓦发电机不同。另外，这种发电机采用了双挂脚。

长沙汽车电器厂生产的JF27（28伏、750瓦）型交流发电机结构与该厂生产的JF13型基本相同，也是在500瓦发电机的基础上将长度增加，改变定子及转子绕组的参数，使其达到额定功率。但这种发电机的安装方式不同，它没有挂脚与吊耳，而用一个鼓包起来固定在发动机上，这种安装型式叫抱持式。该厂生产的JF25C、JF25D型交流发电机也采用抱持式。

图24是上海汽车电机厂生产的JF1000型交流发电机结

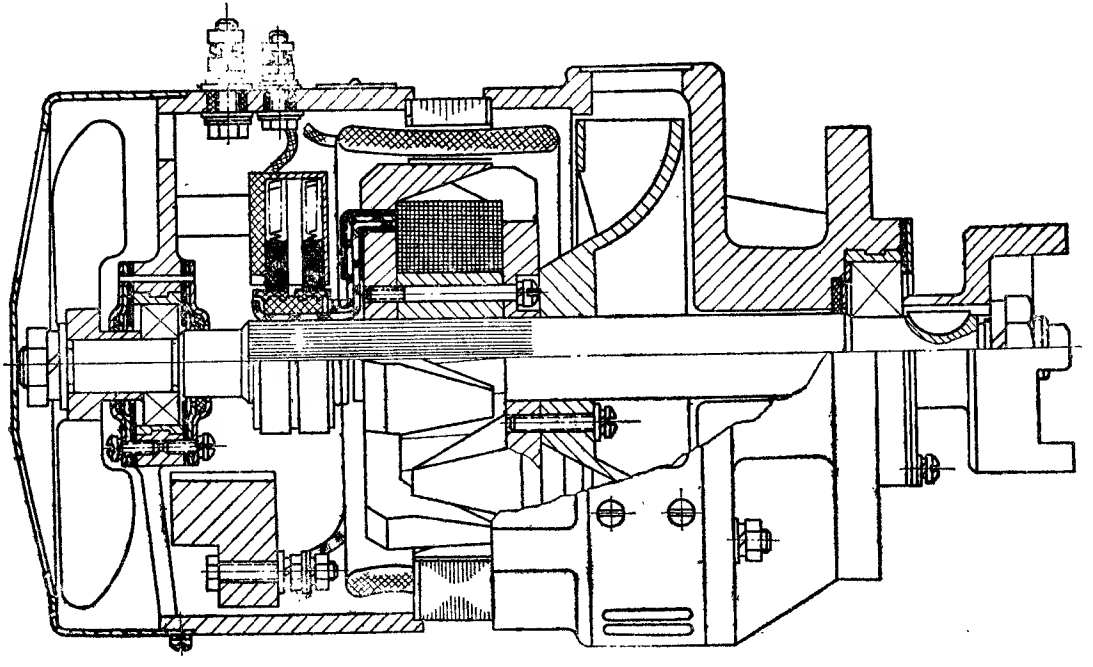


图24　JF1000 型交流发电机结构图

构图。它在发动机上的安装采用三孔凸缘，由于安装位置关系，其传动不是采用皮带轮，而是采用联轴器。发电机内部有二个风扇。靠发电机尾部的一个是轴流式风扇，将冷空气鼓入内部；发电机前面的一个风扇是离心式的，将热气往外甩。这两个风扇使发电机内部的空气对流，冷却其发热部分。电流的输出采用双线制，一个接线柱为正极，另一个接线柱为负极，均与外壳绝缘。发电机的直径比750瓦的大，定子采用42个槽，转子采用7对磁极。

长沙汽车电器厂生产的JF210型（28伏、1000瓦）交流发电机是采用双挂脚，除发电机尺寸及定子、转子绕组参数外，其他结构与该厂生产的JF132型交流发电机基本相同。JF132型是14伏、350瓦，结构与JF13型基本相同，所区别的是JF132型是双挂脚。

为各型汽车发动机配套用的交流发电机，由于各种发动机的结构型式不同，所以发电机的容量虽相同，但安装尺寸各有不同。每种容量等级的发电机有很多种变型，这种变型主要是皮带轮结构不同（如皮带轮的直径、槽型、槽数）或驱动端盖的吊耳与挂脚的相对位置不同。为标明变型起见，在同样容量等级发电机型号的尾部，加A、B……等字母。

目前我国大量生产的解放牌汽车已于1971年开始逐步采用长沙汽车电器厂生产的JF13C型交流发电机，但安装交流发电机用的支架仍与直流发电机通用，这主要是为了在直流机向交流机过渡阶段，当交流发电机有故障时，一时如无法排除或买不到新品，仍可使用直流发电机。由于交流发电机挂脚端面至双槽皮带轮之间的距离较大，挂脚受到较大的弯矩，在发动机运转时发电机有摇摆现象，影响挂脚的寿命。所以从1974年起为解放牌汽车配套使用的交流发电机已改为双挂脚，型号为JF132C，代替原来的JF13C型。JF132C

型交流发电机的内部结构与JF13型基本相同。图25是JF132C型交流发电机的装配剖面图，图26是分解后的各部零件结构图。为了使发电机的安装与JF13C型通用，故发电机驱动端的挂脚向前伸出一定距离，发动机上的支架既可装老的直流发电机，也可装单、双挂脚二种型式的交流发电机。采用双挂脚后，提高了发电机在发动机上安装的牢固性，使其工作比较平稳，挂脚不易损坏，并且在二个挂脚的安装孔中镶有钢套，提高了挂脚孔的耐磨性。

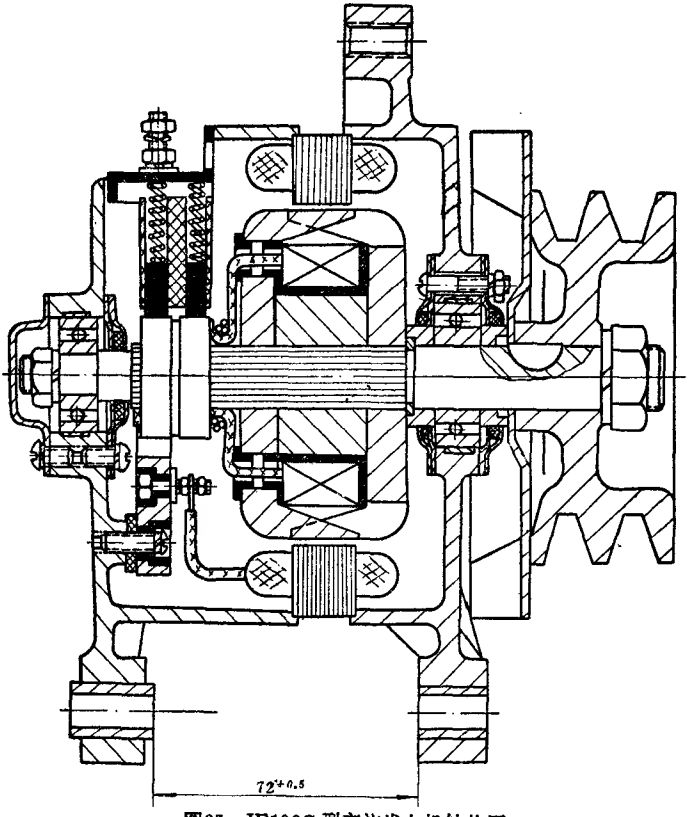


图25　JF132C型交流发电机结构图

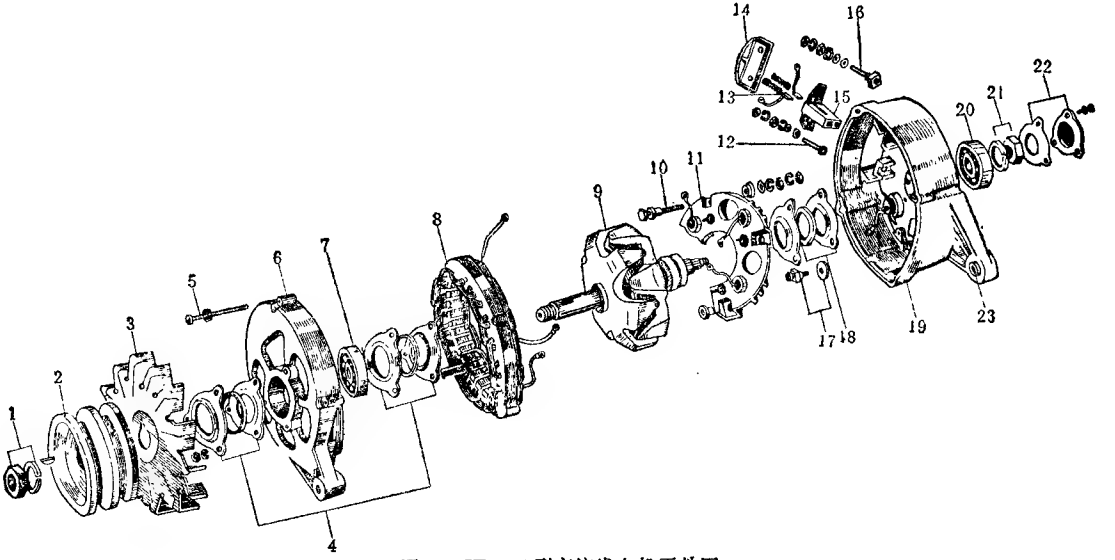


图26　JF132C型交流发电机零件图

1-皮带轮固定螺母及弹簧垫圈；2-皮带轮；3-风扇；4-前轴承油封及油封盖；5-端盖拉紧螺钉(或称对销螺钉)及弹簧垫圈；6-驱动端盖；7-前轴承；8-定子；9-转子；10-电枢接线柱；11-元件板；12-炭刷架固定螺栓（搭铁）；13-炭刷；14-炭刷压簧盖；15-炭刷架；16-炭刷架固定螺栓（绝缘）；17-元件板紧固螺钉（与元件板绝缘）；18-油封及盖；19-炭刷端盖；20-后轴承；21-转子轴固定螺母及弹簧垫圈；22-后轴承盖及纸垫；23-钢套

表1及表2分别列出了上海汽车电机厂及长沙汽车电器厂生产的各型交流发电机的主要性能指标及结构参数。表3列出了上述二厂生产的各型交流发电机与各型汽车及发动机配套情况。

国产汽车交流发电机规格 表1

发电机型号	额定数据		达到额定电压时的转速(转/分)不大于	达到额定电压及电流时的转速（转/分）不大于
	电压(伏)	电流(安)		
JF11 JF13	14	25	1000	2500
JF12 JF23	28	12.5	1000	2500
JF21 JF152	14	36	1000	2500
JF22 JF25	28	18	1000	2500
2JF750	14	54	1000	2500
JF172	14	54	1200	3000
3JF750	28	27	1000	2500
JF27	28	27	1200	3000
JF1000 JF210	28	36	1000	2500
2JF150	14	11	1050	2000
2JF200	14	15	1000	3500
JF01	14	13	1300	3500

表中达到额定电压时的转速，通常称空载转速。就是发电机没有电流输出，当达到14伏或28伏时所需的转速不应超过表中规定的数值。达到额定电压及电流时的转速，通常称负载转速。就是发电机的输出电压与输出电流达到表中规定

国产汽车交流发电机的电气参数　　表 2

发电机型号	槽数	每槽中绕组匝数	绕组导线直径（毫米）	励磁绕组匝数	激磁绕组导线直径（毫米）	激磁绕组电阻（欧姆，20℃）
JF11	36	13	1.08	520	0.62	5.3
JF13	36	13	1.04	530	0.62	5.3
JF12	36	25	0.83	1060	0.44	19.3
JF23	36	25	0.83	1100	0.47	20
JF21	36	11	1.08×2	575	0.64	
JF152	36	11	1.35	600	0.67	5.5
JF22	36	21	1.08	1060	0.47	18
JF25	36	21	1	1100	0.47	20
2JF750	36	8	1.2	600	0.86	3.53
JF172	36	7	1.68	700	0.74	5
3JF750	36	15	0.93×2	950	0.67	8.5
JF27	36	15	1.25	1100	0.59	13
JF1000	42	12	1×2	1250	0.67	14.7
JF210	36	14	1.08×2	1200	0.67	13
JF01	24	21	1.04	500	0.53	5

国产汽车交流发电机与各型汽车及发动机配套使用情况　　表 3

发电机型号	配用调节器型号	适用汽车及发动机型号	备注
JF13 JF132	FT61	解放EQ240型越野汽车	
JF13A	FT61	跃进NJ130、NJ230型汽车	
JF13B	FT61	694Q型发动机	
JF132C	FT61	解放CA10B（双槽皮带轮）型汽车	

续表 3

发电机型号	配用调节器型号	适用汽车及发动机型号	备注
JF13D JF11-B	FT61 FT70	解放CA10（单槽皮带轮）型汽车	为适合原发电机支架安装，带有附件
JF13E	FT61	北京BJ212轻型越野汽车	
JF23	FT62	4105型柴油机、贝利埃GLM8M²型倾卸汽车	带有适合该车型用的附件
JF152	FT61	装用解放牌发动机的公共汽车	
JF152A	FT61	红旗牌小客车	
JF25 JF12A-H	FT62 FT70A	黄河JN151型载重汽车、6120型柴油机	
JF25C	FT62	红岩CQ261型越野汽车	用在贝利埃TBO15M²、GCH时须带安装用的附件
JF25D	FT62	长征XD250载重汽车	用在太脱拉T138型汽车时须带安装用的附件
JF25F	FT62	东方红665型越野汽车	
JF25G	FT62	长江CZ360型倾卸汽车	
JF252E	FT62	五十铃TD50A-D型倾卸汽车	
JF252T	FT62	佩尔利尼T20倾卸汽车	
JF27	FT62	12V150型柴油机	
JF210	FT62	60吨汽车用	
JF11-T	FT70	无轨电车（上海公交公司、广州电车厂）	
JF11A-J	FT70	交通SH142型载重汽车	
JF11A-S	FT70	上海SH130型载重汽车	
JF01-F	FT70	650CC转子发动机	
JF1000	JFT201A	12V135型柴油机（上海柴油机厂）	
JF1000N	JFT201A	12V135型柴油机（上海柴油机厂）	
JF01C-G	FT70	上海15型拖拉机	半封闭
JF01C-K	FT70	丰收27（江西拖拉机厂）型拖拉机	半封闭

的数据时发电机的转速不应超过规定的值。也就是说，发电机在这个规定的转速时应该有输出额定功率的能力。实际在汽车上使用时发电机的转速应该超过这个数值。发电机的允许最高转速主要受轴承的使用寿命等机械因素的限制。国产的交流发电机在汽车上实际的经常使用转速为3500～4000转/分左右，极限使用转速规定不超过8000转/分。

为了提高交流发电机的使用可靠性，并延长其使用寿命，提高炭刷与滑环的接触的可靠性是很重要的。为此，有的国家（如西德、意大利、日本等生产汽车发电机的工厂）生产的交流发电机，在后端盖的轴承孔周围铸出一个圆柱形的罩子，滑环保护在圆柱形的罩子内。这样，当发电机在汽车上工作时可以使从后端盖进风时伴随带进的砂土等有害物质避免与滑环直接接触，因而滑环的工作表面比较清洁，减少炭刷与滑环的接触不良并提高了耐磨性。但这种结构只有在轴承采用封闭型时才比较容易实现，如果采用普通型轴承，则由于端盖内有油封盖，要采用这种防护滑环的结构就比较困难些。

以上介绍的几种交流发电机是适用于汽车上使用的。如果在拖拉机上或在其他环境恶劣的地方使用时，这种汽车上通常使用的结构形式的发电机就不能适应了。因为在农田里使用时，各种泥浆、灰砂、污水等会从发电机炭刷端盖的进风口处进入电机内部，使炭刷与滑环的接触不良并加速磨损，其他零部件也因之受到腐蚀。因此，在环境恶劣的地方使用的交流发电机要采用封闭型，就是在炭刷端盖无进风口。这样，发电机的绕组散热就比较困难。为使发电机工作时绕组的温度不超过允许的限度，就必须把发电机的尺寸做得大一些。同样输出功率的交流发电机，封闭型的尺寸要比普通型的大。有的封闭型的发电机仍装有风扇，这主要是加速发

电机表面空气的流通，使发电机内部产生的热量传导到外壳后很快散去，以降低发电机内部绕组的温度。根据JB515-77《汽车、拖拉机用电气设备基本技术条件》的规定，对采用A级绝缘材料的发电机来说，绕组的温升不应超过90°C，滑环的温升不应超过85°C；对采用E级绝缘材料的发电机来说，绕组的温升不应超过105°C，滑环的温升不应超过100°C。温升限度就是指发电机实际工作时绕组或其他有关部位的温度超过周围环境温度的度数。如果发电机工作时绕组温度太高，就会使发电机的使用寿命大大缩短。

有的国家把封闭型交流发电机的前后端盖做成有很多散热筋，以增加散热面积，降低发电机绕组的工作温度。

也有的国家为了使交流发电机能在周围环境温度恶劣的条件下使用，把交流发电机做成无炭刷的，就是发电机内没有炭刷和滑环，这就大大减少了发电机在运行中的故障。无刷的交流发电机一般有两种结构形式：一种是感应子式。它的转子没有绕组，而是有若干个沿圆周均匀分布的齿形的凸极，激磁绕组有的固定在端盖上，有的固定在定子上。它的作用原理是，用钢制成的转子凸极在不运动的磁场内旋转时定子齿内就产生脉动磁通量，当转子齿对着定子齿时磁通量最大，而当定子齿对着转子槽时齿内磁通量最小。这样，放在定子内的绕组就感应产生出交流电动势。另一种是附加气隙式。它的激磁绕组通过一个磁轭托架固定在后端盖上，把一个爪极通过非导磁材料固定在另一个爪极上，后一个爪极固定在发电机轴上。当皮带轮带动轴旋转时，一个爪极就带动另一个爪极一起在定子内转动。这种发电机的激磁方法和激磁的磁通回路与普通的汽车交流发电机相同。激磁绕组仍在爪极内，由于激磁绕组通过其托架固定在后端盖上不旋转，这就使磁轭托架与爪极之间产生了两个附加气隙。感应

子式的无刷交流发电机由于比功率（单位重量的功率数）太低，发电机的空载及负载转速太高，仅在一部分拖拉机上采用；有附加气隙的交流发电机，由于两个爪极之间连接的制造工艺较困难，仅在特殊使用条件下采用。无刷交流发电机在汽车上尚未推广应用，本书不作详细叙述。

国外有的汽车交流发电机在后端盖内装有一个电容器，它的一端与发电机直流输出接线柱相联，另一端固定在发电机外壳上。就是说，这个电容器与发电机输出端并联。这个电容器一般叫做抑制电容器。汽车交流发电机工作时虽然没有火花，但经整流后的电压仍是脉动的，仍有一定程度的干扰电磁波产生，在输出端加一电容器后可以降低干扰的程度，使发电机工作时对无线电干扰的允许值达到规定程度。这个电容器的容量一般为0.5微法左右。

第三节　汽车交流发电机的工作原理

（一）汽车交流发电机的发电原理

汽车交流发电机是三相同步电机。转子的转速和定子绕组中产生的感应电动势的频率成一定的比例，转子的转速愈高，在定子绕组中感应产生的交流电频率愈高。它们的关系是：

$$f=\frac{pn}{60}$$

式中：　f——交流电的频率；

p——发电机磁极对数；

n——转子转速，转/分。

图27表示鸟嘴形磁极的交流发电机的磁路部分。激磁绕

组2绕在磁轭1上面，磁极3和4压在轴7上，轴上也有一部分磁通通过。图中6是安放在定子5中的星形联接的三相绕组，它们在定子中的位置彼此相差2/3极距。每相绕组是若干匝线圈串联而成。

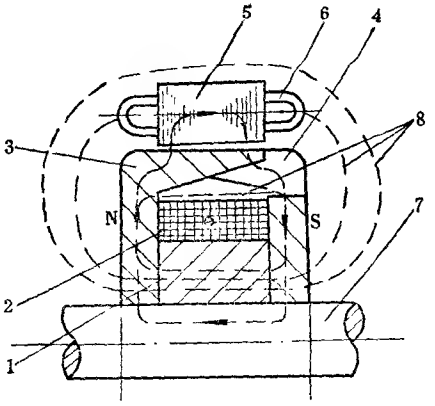


图27　交流发电机的磁路系统
1-磁轭；2-激磁绕组；3、4-爪极；5-定子；6-三相绕组；7-轴；8-漏磁通

线圈的绕法可分为单层绕组与双层绕组二种。单层绕组就是在一个定子槽内嵌入一个线圈边，双层绕组是在一个定子槽内嵌入二个不同线圈的边。汽车交流发电机大多采用的是单层绕法。国产交流发电机绕组的节距多数为1—4，就是每一匝线圈二边在定子槽内的距离间隔为1—4。

每极每相槽数q是定子绕组的重要特性

$$q=\frac{z}{2pm}$$

式中：　z——定子总的槽数；

$2p$——发电机极数；

m——发电机相数。

目前国产汽车交流发电机采用的三相绕组，其每极每相槽数q为1。发电机的转子旋转时，在其激磁绕组中形成的磁通切割定子绕组的导线，于是定子的三相绕组就感应出交流电动势。

当汽车的点火开关接通时，蓄电池电流通过调节器触点

流向发电机的激磁绕组，激磁绕组周围就产生磁通。大部分的磁通通过磁轭1（也有一部分通过轴）分布在爪极3，这个爪极是北（N）极。磁通通过北极后，穿过转子与定子之间的空气隙，经过定子的齿部与轭部，再穿过空气隙，进入另一爪极4，这个极是南（S）极，再从南极回到磁轭1，形成磁回路。激磁绕组所产生的磁通没有全部通过定子的齿部和轭部，而有一部分从定子旁边的空气中及N极与S极之间通过，这部分磁通称为漏磁通，如图27中8所示。这部分磁通不会使定子中的三相绕组产生电动势，所以我们在设计制造时，要设法使这部分漏磁通尽可能减少。

当转子在定子内旋转时，转子的N极与S极磁通在定子齿部与轭部交替通过，定子槽中的三相绕组感应交变电动势。图28示$q=1$、定子槽数为36的汽车交流发电机的绕组分

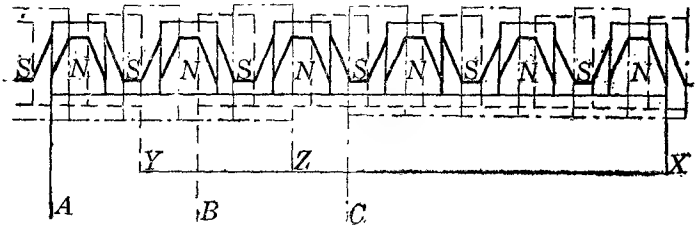


图28　汽车交流发电机三相绕组的分布图

布图。A、B、C表示三相绕组的起端，X、Y、Z表示三相绕组的末端。三相绕组所产生的交流电动势电角度相差120°，如图29所示。

如果已知发电机空气隙中的磁通。则可求得发电机一相绕组所产生的电动势

$$E_{\varphi}=4.44k_{f}\omega\Phi 10^{-8}\text{〔伏〕}$$

式中：　f——感应电动势的频率；

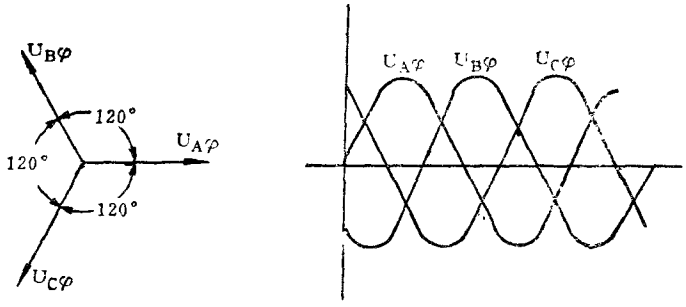


图29 三相交流发电机所产生的感应电动势

ω——定子每相绕组串联匝数；

Φ——发电机空气隙中磁通，麦；

k——绕组系数，$q=1$（定子36槽，转子12个磁极）时，三相交流发电机的绕组系数 $k=1$。

从上式可以看出，交流发电机定子绕组内感应产生电动势的大小与每相绕组串联起来的匝数成正比，也就是与定子槽内嵌入的导线匝数成正比，还与感应电动势的频率成正比，也就是与转子的转速成正比。定子槽内安放的绕组匝数愈多，转子转得愈快，则绕组内感应出的电压也就愈高。

（二）整流原理

交流发电机定子绕组中感应的交变电流，要依靠硅元件组成的整流器改变为直流电。我们先把整流器的一般工作原理介绍如下。

1.单相半波整流

图30甲示单相半波整流电路。交流电的电源以变压器为例子来说明。电源电压 U_1 及 U_2 分别表示变压器初级电压及次级电压的有效值。整流元件 D 将忽正忽负的交变电压变换成单方向的脉动电压。负载 R_L 相当于需要用直流电源的电

气设备。整流后的波形如图30乙所示。在0～π时间内，变压器的次级电压使二极管 D 承受正向电压，D 导通；在π～2π时间内，二极管 D 承受反向电压，不导通，因此负载上没有电压。这样负载 R_L 上得到了单方向的半波电压，交流电就变换成脉动的直流电了。其直流电压的数值（即半波电压在整个周期内的平均值）为：

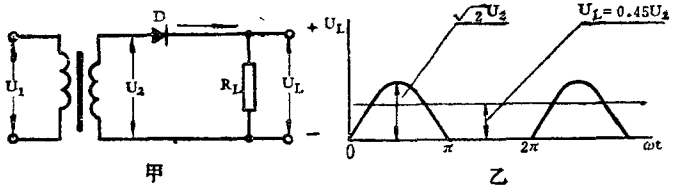


图30　单相半波整流电路

$$U_L = 0.45U_2$$

在实际应用时，往往是根据负载电压 U_L 的大小来求变压器的次级电压，那么上式可改变成：

$$U_2 = \frac{1}{0.45}U_L = 2.22U_L$$

流过整流元件的平均电流 I_a 与流过负载的直流电流 I_L 相等。

$$I_a = I_L = \frac{0.45U_2}{R_L}$$

整流元件 D 所承受的反向电压 U_{afm} 就是 U_2 的最大值。

$$U_{afm} = \sqrt{2}\,U_2$$

单相半波整流电路主要的缺点是电源电压的半个波浪费了，所以仅在小电流的场合（几十毫安以下）才用它。

2.单相全波整流

单相全波整流电路是由两个单相半波电路合起来组成

的。它的电路如图31甲所示，变压器次级引出电压 U_{2a}、U_{2b} 大小相等，但方向相反。在0～π时间内，U_{2a}为正，U_{2a} 经过 D_1、R_L、变压器中心抽头构成通电回路。D_2因承受反向电压而不导电。在π～2π时间内，U_{2b} 为正，U_{2b} 经过 D_2、R_L、变压器中心抽头构成通电回路。D_1因承受反向电压而不导电。

可见，由两个整流元件构成的两个单相半波电路，轮流导电，从而使负载电阻 R_L 上得到了单方向流动的电流。图31乙表示交流电压波形，图31丙表示整流后直流电压波形。

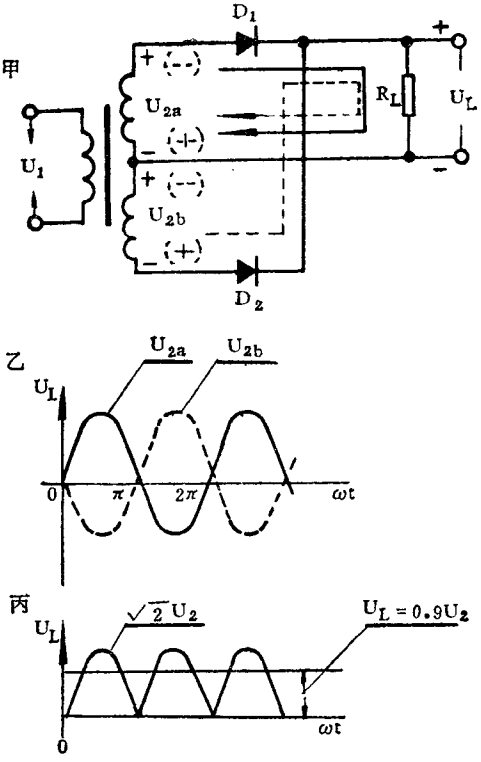


图31　单相全波整流电路

全波整流电路的直流输出电压是半波整流电路的一倍。其值为：

$$U_L = 0.9U_2$$

或

$$U_2 = 1.11U_L$$

由于两个整流元件是轮流导电的，流过每个整流元件的平均电流就只有负载电流的一半。

$$I_a = \frac{1}{2}I_L = \frac{0.45U_2}{R_L}$$

式中：I_a——每只二极管的平均电流。

而每个整流元件所承受的最大反向电压是变压器次级电压最大值的两倍。

$$U_{afm} = 2\sqrt{2}\,U_2$$

单相全波整流电路，虽然克服了单相半波电路的缺点，但整流元件所承受的最大反向电压较高，如果输出电压要求较高的话，则必须选择耐电压高的二极管。

3.单相桥式整流

单相桥式整流电路是由四个二极管所组成，其电路接成一个电桥形式，所以称为桥式整流电路，如图32所示。

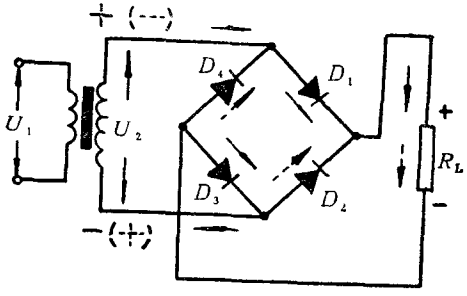


图32　单相桥式整流电路

当电源的极性上面正、下面负时，整流元件D_1、D_3导

通。电流从变压器次级线圈上端经 D_1、R_L、D_3 回到变压器次级线圈下端，在负载 R_L 上得到一个半波整流电压。当电源极性相反时，整流元件 D_2、D_4 导通，电流通过 D_2、R_L、D_4 成一回路，同样在 R_L 上得到一个半波整流电压。这样，在负载上就能得到一个同单相全波一样的电压波形。输出直流电压与单相全波整流电路一样。

$$U_L = 0.9U_2$$

通过整流元件的平均电流与全波整流时一样。

$$I_z = \frac{1}{2} I_L = \frac{0.45U_2}{R_L}$$

整流元件所承受反向电压最大值与全波整流电路不同，它等于：

$$U_{afm} = \sqrt{2}\, U_2$$

单相桥式整流电路与单相全波整流电路比较，变压器次级线圈无需中心抽头，可以节省材料，元件的耐电压可以低一半，但元件的数量比全波线路多一倍。

4.三相桥式整流电路

图 33 甲表示交流电源呈星形绕组联接、采用六只二极管组成的三相桥式整流电路。汽车交流发电机就是采用这种整流电路的。六只二极管中，三只是正极，三只是负极。图33乙表示这种整流电路的交流电压波形。图33丙表示输出的直流电压波形。它的整流原理如下：

在 $t_1 \sim t_2$ 时间内，A 相的电压最高，而 B 相的电压最低，这样电流就从 A 相绕组出发，经二极管 D_1、负载电阻 R_L、二极管 D_4，回到 B 相绕组组成回路。A、B 相之间的线电压加在负载 R_L 上。

在 $t_2 \sim t_3$ 时间内，A 相的电压仍为最高，而 C 相的电压变为最低，所以电流就从 A 相绕组出发，经二极管 D_1、负

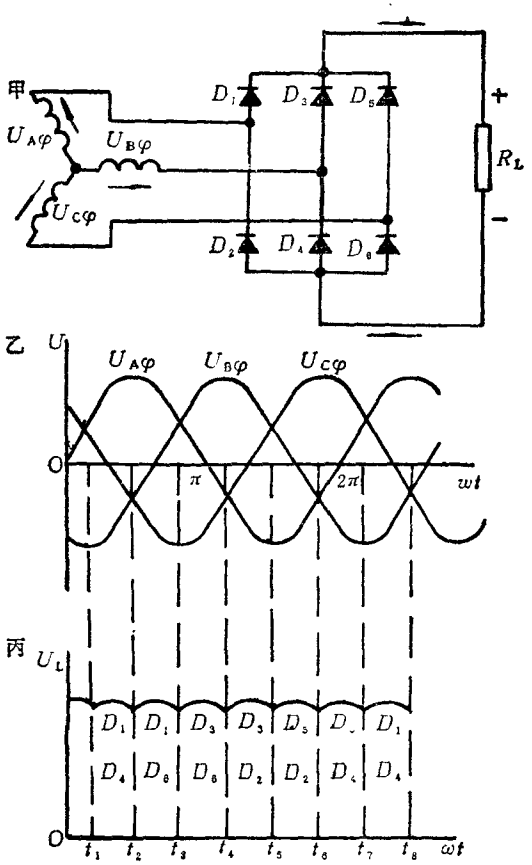


图33　三相桥式整流电路

载电阻 R_L、二极管 D_6，回到 C 相成回。路 A、C 相之间的线电压加在负载 R_L 上。

在 $t_3 \sim t_4$ 时间内，B 相电压变为最高，而 C 相的电压仍为最低，所以电流就从 B 相出发，经二极管 D_3、负载电阻 R_L、二极管 D_6，回到 C 相成回路。B、C 相之间的线电压加到负载 R_L 上。

在 t_4～t_5 时间内，二极管 D_3、D_2 导通。

在 t_5～t_6 时间内，二极管 D_5、D_2 导通。

上述每一时间间隔，相当于交流电流1/6周期，即60度电角度。这样，整流后的电压仍然是脉动的，脉动频率为交流电流频率的6倍。如此往复循环，在负载 R_L 上就得到一个比较平稳的直流脉动电压。

整流后电压的平均值为：

$$U_L = 2.34U_\varphi。$$

式中：U_φ——相电压有效值。

以上是假设二极管在正向导通时没有电压降。实际上二极管在正向导通时有电压降，所以交流电压与直流电压之间的关系应为：

$$U_\varphi = \frac{1}{2.34}(U_L + 2U_d)$$

式中：U_d——每个二极管的电压降(汽车用二极管约为0.2～0.6伏)。

在交流电路中，$U_\varphi = \frac{1}{\sqrt{3}}U_x$

式中：U_x——三相电路中的线电压。

所以

$$U_x = \frac{\sqrt{3}}{2.34}(U_L + 2U_d)$$

$$= 0.741(U_L + 2U_d)$$

假如我们要得到某一数值的直流电压，就很容易求得交流相电压及线电压。例如要得到28伏直流电压，求所需交流的线电压及相电压。

设每个二极管的电压降为0.4伏，则

线电压：$U_x = 0.741(28 + 2 \times 0.4) = 21.3$伏

相电压：$U_\varphi = \frac{21.3}{\sqrt{3}} = 12.3$伏

三相桥式整流电路，在交流电的每一周期中，每只二极管只有 1/3 时间导通，所以，每只二极管的平均电流只为负载电流的1/3。

$$I_a = \frac{1}{3} I_L$$

每只二极管所承受的最大反向电压为：

$$U_{afm} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{3}\, U_\varphi = 1.05 U_L$$

实际上，在汽车交流发电机中选用的二极管反向电压要高得多，因为考虑到汽车电路中由其他电气设备产生的自感电动势作用于交流发电机的二极管，所以反向电压必须要有一定倍数的安全系数。

有的汽车交流发电机带有中心抽头，如图34所示。它是从三相星形绕组的中性点引出一接线柱，得到一电压 U_N，$U_N = \frac{1}{2} U_L$。即交流发电机中性点接线柱对发电机外壳之间的电压，等于发电机电枢接线柱对发电机外壳之间电压的一半，因为它是通过三个负极二极管整流后得到的直流电

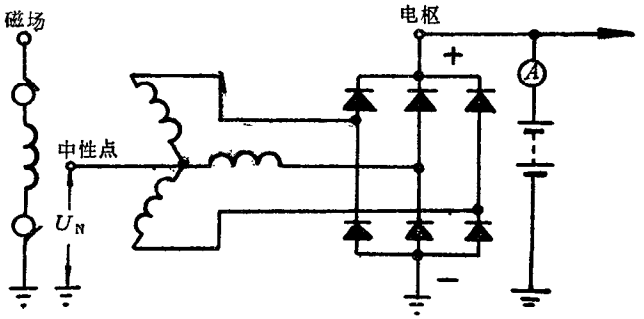


图34　带有中性抽头的交流发电机

压，相当于三相半波整流得到的直流电压。这个电压一般用来控制各种用途的继电器，如磁场继电器、防倒流继电器以及充电指示灯等。

第四节　汽车交流发电机的特性

（一）汽车交流发电机的激磁方式

要使交流发电机定子绕组中产生电动势，就必须对其磁极进行激磁。激磁的方法，一般分为他激和自激两种。一般工业用交流发电机的激磁大都采用他激的，即完全用另外的电源对发电机的磁极进行激磁；另一种是自激的，即利用本身定子绕组中发出来的电，供给本身的磁极。此外也有一种是永磁式，即磁极是预先充好磁的。这种激磁方法一般用于100瓦以下的小型交流发电机。小型拖拉机上采用这种永磁式交流发电机。

汽车用交流发电机的激磁方式与一般工业用交流发电机不同，它在低速运转时，即还未达到蓄电池充电电压时，是他激的，由蓄电池的电流供给发电机的激磁绕组；当高速运转时，即发电机的转速已达到蓄电池充电电压的转速时，发电机是自激的，利用定子绕组本身产生的、经过整流的直流电流，供给发电机本身的激磁绕组。

图35表示一般常用的激磁电路方式。当点火开关（对汽油发动机而言）或电源开关（对柴油发动机而言）接通时，蓄电池的电就通过调节器触点至发电机的激磁绕组成回路。当开关K断开时，激磁绕组才与蓄电池电路断开。如果当停车后，开关K仍未断开，则蓄电池的电就会通过调节器的触点向发电机激磁绕组长期放电。开关K未断开的情况在实际

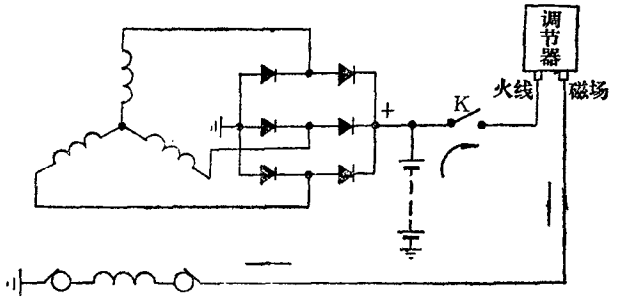


图35　常用的激磁回路

使用中是可能存在的，尤其是采用柴油发动机的汽车及固定式的柴油机，因柴油机的熄火不是靠电门开关来控制的。当蓄电池放电时间长后，就会影响发动机的起动。

现在，国外很多国家已发展9管交流发电机。图36表示9管交流发电机的典型线路。增加的三个二极管叫做激磁二极管。

当开关K接通后，蓄电池的电就通过充电指示灯4——

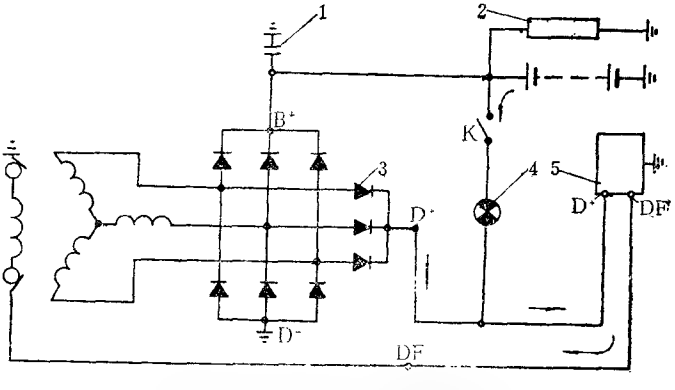


图36　9管交流发电机线路图

1-电容器（抑制干扰用）；2-负载；3-激磁二极管；4-充电指示灯；5-调节器

调节器5的D^+接线柱——调节器第一级触点——调节器DF接线柱至发电机激磁绕组成回路。充电指示灯4就亮，同时发电机的激磁绕组得到了较小的激磁电流，已有一定的激磁能力。当发电机开始运转后，D^+对D^-及B^+对D^-之间开始建立直流电压。当发电机转速达到一定值后，整流后输出的直流电压超过蓄电池的电压并向蓄电池充电时，由于充电指示灯4二端的电压相等，所以充电指示灯就灭了。同时发电机的激磁电流开始靠三个激磁二极管及三个负极二极管组成的整流后的直流电压供给。当发电机转速下降至一定值后，它发出的直流电压低于蓄电池的充电电压时，指示灯4又亮。这种9管交流发电机的主要优点是可以接一个充电指示灯而调节器仍仅仅是一个电压调节器，不需另外增加一组继电器。如果当发动机已熄火，而操作者未把电源开关断开时，蓄电池的电不会大量向发电机的激磁绕组放电。因为要通过功率很小的指示灯泡，指示灯仍亮，可给操作者一个信号，及时把电源开关断开。它的缺点是增加了三个二极管，提高了发电机的制造成本。

（二）汽车交流发电机的特性

汽车交流发电机的使用条件与一般工业用交流发电机不同。一般工业用交流发电机的使用转速是固定的，而汽车交流发电机是安装在发动机上，按固定的传动比（即发动机曲轴皮带轮直径与发电机皮带轮直径之比）由发动机曲轴带动。所以，发电机的转速在很大的范围内变化，即在相当于发动机最低速度（发动机怠转时）到相当于发动机最高转速的范围内变化。对一般现代汽油发动机来说，它的转速变化为1：8；对柴油发动机来说，可以为1：3.5。所以，表示汽车交流发电机特性的方法也不同，一般以速度变化为基准，

表示出各量之间的关系，并且要求在这么大的转速范围内发电机的电压保持在规定的数值，这要通过电压调节器来达到。

1.空载特性

图37示发电机特性试验时的接线图。断开开关K_3，闭合

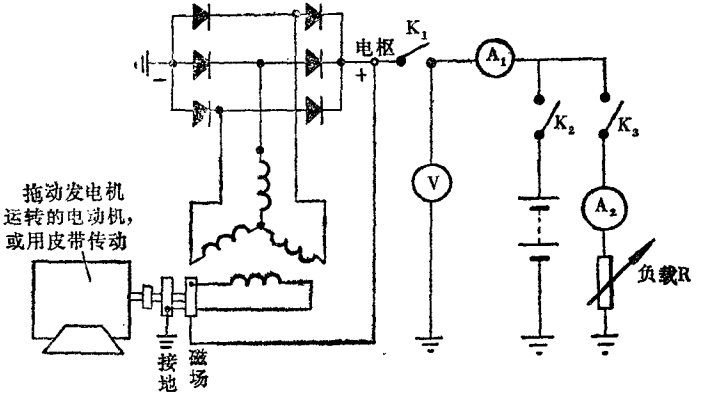


图37　试验交流发电机时的接线图

开关K_1、K_2，蓄电池的电流就流向激磁绕组，发电机以他激工作。这时电流表A_1指示放电。当发电机的转速逐渐上升时，发电机定子绕组感应的交流电动势及整流后的直流电压也逐渐上升。当整流后的直流电压与蓄电池的电压相等时，电流表A_1的指针指示零位，此时开关K_2断开，发电机开始自激。转速再逐渐上升，发电机电压、电流也就随着转速上升，记录转速与直流电压，就可绘出空载特性曲线，如图38所示。我们可从空载特性曲线，观察发电机转速与电压的关系，由此判断发电机的性能是否良好。

在实际做试验时，也可以不用电流表A_1，开始时发电机低速旋转，逐渐提高其转速，在合上开关K_2一瞬间，如电压

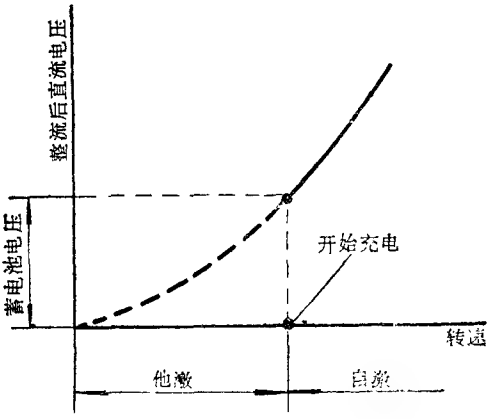


图38　汽车交流发电机空载特性曲线

表指示的电压随着发电机转速升高而上升，说明发电机已自激。

2.输出特性（或称负载特性）

输出特性即保持发电机输出电压一定时（对12伏的发电机规定为14伏，对24伏的发电机规定为28伏），转速与输出电流之间的关系。这是汽车交流发电机最重要的特性，因为从它可以看出发电机在不同转速时输出功率的情况。发电机与发动机传动比的选择，要考虑发电机起始发电的转速（使发动机在低速运转时，发电机已开始建立起蓄电池充电的电压）及当发动机在常用转速运转时，发电机是否能达到额定的输出功率。因此，汽车交流发电机的特性，常常用一条输出特性曲线来表示。

参阅图37，合上开关K_1、K_2，到发电机输出电压达到蓄电池充电电压后，断开开关K_2，合上开关K_3，发电机就开始自激而输出电流。电流的大小用负载电阻R来调节，当负载电阻减小（相当于汽车上用电量增加）时，发电机的输

出电流就增大。这样在电压保持一定的情况下，调整负荷电流值及转速，就可以得到输出特性曲线，如图39所示。

从图39的输出特性曲线可以看出，当转速达到一定值后，发电机的输出电流不再继续上升，发电机的输出受到了限制，这时电流的数值，我们称之为限流值或发电机的最大输出值。所以，汽车交流发电机有一种自身限制输出电流的性能。表示汽车交流发电机输出功率的方法有几种：一种是以发电机最大输出电流值的2/3作为额定输出电流值，如图39n_2时的输出电流值；一种是以最大输出电流值计算；另一种不以功率表示，只规定电压、电流值。我国汽车交流发电机是以功率表示的。根据JB1545-75《汽车、拖拉机用交流

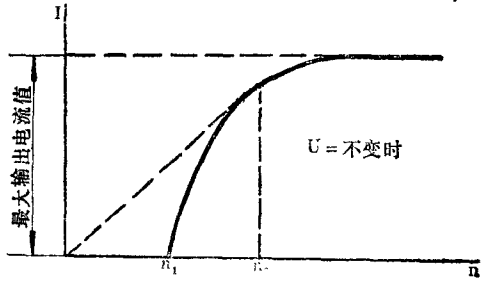


图39　交流发电机输出特性曲线

发电机功率等级和安装尺寸》规定，汽车拖拉机用交流发电机的功率等级分为180、250、350、500、750、1000瓦等六种。每种功率数被额定电压（14伏或28伏）除所得的商即为额定电流值。这些功率数值是指发电机在高温情况下而言的。即发电机在75°C高温条件下运转3小时后仍应有额定功率的输出。

图40甲及乙分别表示交流发电机的接线图及与其相对应的用简单方法表示的等效回路图。

一般发电机的端电压U等于感应电动势E减去内部电

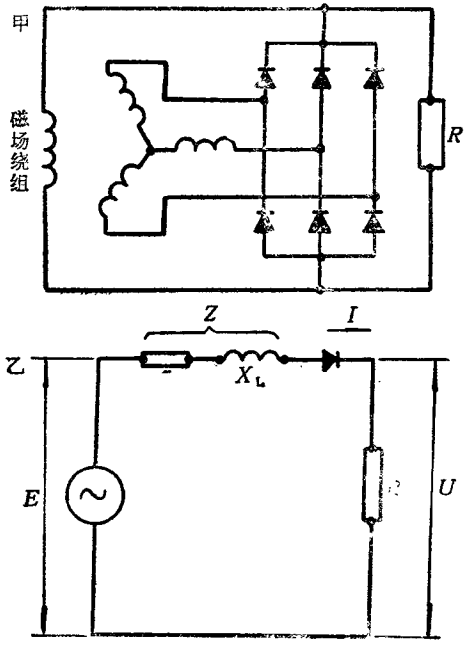


图40　交流发电机接线及等效回路图

E-感应电动势；U-端电压；I-负载电流；R-负载阻抗；X_L-定子绕组感抗；r-定子绕组电阻值；Z-定子阻抗

压降（直流发电机是转子绕组电阻 r 乘所通过的电流，交流发电机是定子绕组的阻抗乘所通过的电流引起的电压降），可用下式表示：

直流发电机　　$U = E - Ir$

交流发电机　　$U = E - IZ$

直流发电机的电阻 r 可以认为是基本上不变的，它只随温度的变化而发生变化。而交流发电机中的阻抗 Z 是由相绕组的电阻 r 和感抗 X_L 合成的。一般的感抗 X_L 值比电阻 r 值大，X_L 值随转速的提高成正比例增大（前面已经说过，$X_L = 2\pi fL$，转速提高时，f 增加）。另外，负载电流增大时，由

于电枢反应的影响，产生的去磁作用，使磁场削弱，定子中感应的电动势也下降。

因此，发电机转速升高到使负载电流增加到一定值后，如再提高转速，则上述感抗引起的内部电压降和电枢反应引起的感应电动势下降，两者共同起作用，使发电机的输出电流不再上升。所以说，交流发电机有一种自身限制输出电流的作用，它的限制电流值的大小，与定子相绕组的电感 L 有关，也就是与相绕组的匝数等有关。因此采用交流发电机后，除非特别需要外，一般就不需要像直流发电机那样在调节器中有一组节流器。

3.外特性

外特性即转速一定时，输出电流与端电压之间的关系。将发电机激磁后，保持一定转速，逐步改变发电机的负载，同时测定负载电流与端电压数值，绘成曲线，即为其外特性。图41表示交流发电机的外特性。从曲线可知，随着输出电流

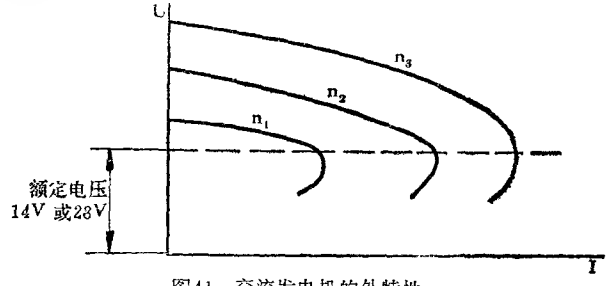


图41　交流发电机的外特性

的增加，发电机的端电压逐渐下降，达到某一最大电流时，电压和电流同时急剧下降。如果测定各种转速时的输出电流与端电压之间的关系，就能得到各种转速时发电机的外特性。

通常在只要一般地了解汽车交流发电机的特性时，往往用前面所述的输出特性即可满足，而不用外特性。

第二章　半导体元件

第一节　半导体的特性

按导电性能来区分，物体可分为三类：导体、绝缘体和半导体。我们所熟悉的金、银、铜、铁、锡等金属，导电性能好，它们均称为“导体”。日常生活中用的导体外包塑料皮、橡胶皮，开关和灯头的胶木、电瓷等材料，导电性能很差，它们均称为“绝缘体”。介于上述二者之间的材料，就称为“半导体”。硅、锗、硒、砷化镓等就是半导体材料。物体的导电性能可用电阻率来表示。按电阻率来划分，电阻率为10^{-6}～$10^{-3}\Omega\cdot cm$的物体均为“导体”；电阻率为10^{5}～$10^{20}\Omega\cdot cm$的物体均为“绝缘体”；电阻率在10^{-3}～$10^{8}\Omega\cdot cm$之间的物体均称为“半导体”。

半导体的导电能力介于导体与绝缘体之间，这是它的一个特性。但这仅仅是一个表面的现象，实质上半导体在温度变化和光照之后，可以增加它的导电能力；当半导体内加入某些物质时，它可以表现出良导体的特性，也可以表现出绝缘体的特性。总之，半导体对外界给它的影响的灵敏性很高，这是它的一个可取的特性。我们利用这种特性，可将半导体制成我们所需要的各种元件。

为了进一步说明半导体的特性，我们必须首先看看物体是怎样导电的。世界上的所有物体都是由分子组成。分子又由原子构成。每个原子又有一个带正电的原子核和许多带负

电的电子，电子分层分布并围绕着原子核而运动。原子核所带正电的数量刚好与外面电子所带负电的总数量相等，互相中和，所以整个原子在正常状况下是显示不出带电的。靠近原子核的内层电子被束缚得很紧，不容易离开原子核而自由运动；离原子核较远的外层电子，则不容易被束缚住而容易离开原子核自由运动。导体的外层电子中有部分能脱离原子核自由活动，这些电子称为自由电子。导体是靠大量的自由电子来导电的。绝缘体与导体相反，不论里层、外层的电子都被原子核束缚得很紧，自由电子几乎没有，因此不导电。纯半导体也与绝缘体一样，基本上不导电。但它的最外层电子不像绝缘体那样被原子核束缚得很紧，少量的电子也会因为外界的作用（如热）而脱离原子核，形成少量的自由电子，同时留下电子的空位，叫做“空穴”。空穴带正电，也能导电。这个电子与空穴形成的过程，叫做电子、空穴对的“激发”。反之激发的电子填补到空穴上，就同时消失掉一对自由电子和空穴，称之为“复合”。从它们的产生到复合所存在的平均时间，即称为少数载流子的“寿命”。由于这种原因，半导体比绝缘体的导电能力强。

在半导体中掺入某种物质（或称杂质）时，能改变半导体的导电能力。例如在半导体硅中掺入锑或磷，会放出自由电子，导电能力增强。增加杂质的含量，就能够增加自由电子的数目，也就是提高半导体的导电能力。象锑、磷等这类能够放出自由电子的杂质，叫做“施主杂质”，掺有施主杂质的半导体就叫做“N型半导体”。就是说，N型半导体是靠自由电子来导电的。要是施主杂质掺得特别多，也就是杂质浓度特别高，那就叫做“N^+型半导体”。N^+型半导体的导电能力比较接近导体了。

除了施主杂质，还有一种类型的杂质，叫做“受主杂

质”，这种杂质掺到半导体里面，不会放出电子，但会放出“空穴”。增加受主杂质的浓度，就能增加空穴的数目，这也能增强半导体的导电能力。掺有受主杂质的半导体叫做“P型半导体”。就是说，P型半导体是靠空穴来导电的。如果受主杂质浓度特别高，那就叫做“P^+型半导体”。硼、铝等就是最常见的受主杂质。

由于电子和空穴都能够传导电流，所以我们把它们叫做“载流子”。

第二节　N型半导体和P型半导体的导电原理

前面已经讲过，原子的内层电子被束缚得很紧，而最外层的电子就束缚得不那么紧，容易受到外界的影响。元素的许多性质往往与原子最外层电子数有关。拿硅元素来说，硅原子里有14个电子，而它最外层的电子数目是4个。而受主杂质硼、铝，最外层电子数目是3个。施主杂质磷、锑，最外层电子数目是5个。

在硅单晶里，原子整整齐齐地排列，外层的4个电子被互相束缚住，它们是不能随便离开原子自由移动的(如图42)，就是说，没有自由电子，因此纯硅导电能力很差。

要是在纯硅中掺入施主杂质（例如磷），磷原子最外层有5个电子，比硅多1个，掺到硅的单晶里，就多出1个电子，这个电子很容易被激发出来到处乱跑，成为自由电子，如图43所示。这就是N型半导体导电的道理。

要是在纯硅中掺入受主杂质（例如硼），硼原子最外层只有3个电子，比硅少1个。则在硅原子上就会出现电子的

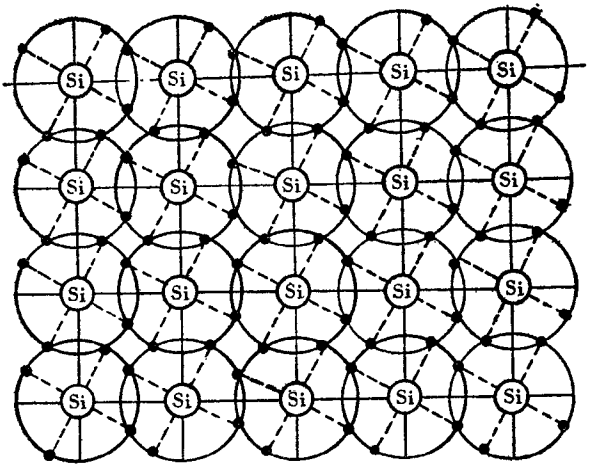


图42　硅单晶原子结构示意图

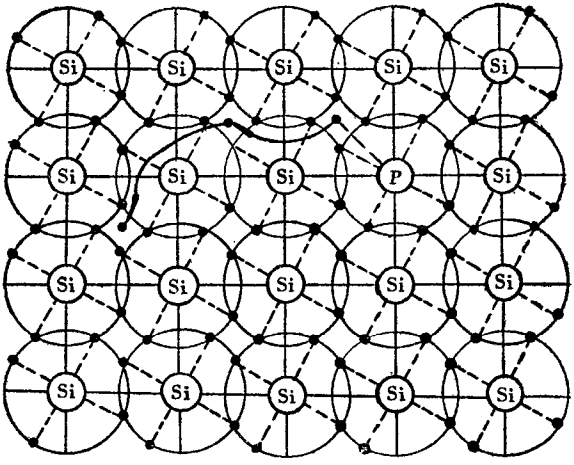


图43　N 型硅单晶原子结构示意图

空位，也就是空穴。由于硅的中性原子中少了一个带负电的电子，就成为带正电的了。所以空穴是带正电的。空穴也可

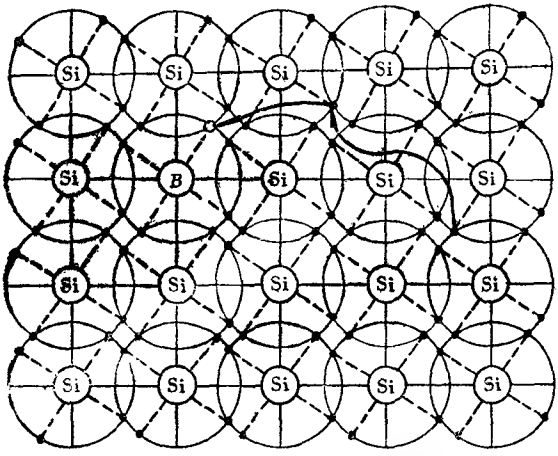


图44　P 型硅单晶原子结构示意图

以在半导体中自由移动，如图44所示。既然空穴带正电，又能自由移动，那么，如果把 P 型半导体接上电源，同样可以推动带正电的空穴流动，形成电流。不过空穴带的电和电子相反，所以在外电场推动下，它的流动方向和电子流动方向相反。这就是 P 型半导体导电的道理。

第三节　硅整流元件的整流原理

硅整流元件的核心是 P-N 结。在同一块半导体上，一部分是 N 型，另一部分是 P 型。P 型和 N 型的交界面就称为 P-N 结。

P-N 结具有整流作用，是由于 P 型半导体的空穴浓度高于 N 型半导体的空穴浓度，而 N 型半导体的电子浓度高于 P 型半导体的电子浓度。因而，在 P-N 结附近，P 型

半导体中的部分空穴便会跑到N型区去；相反，N型区的一部分电子也会跑到P型区。无论是P型半导体还是N型半导体，本身是不带电的，如果在P-N结附近P型区失去了部分空穴，便带有负电，而N型区失去了部分电子，便带有正电。结果，在P-N结附近形成了一个带电的区域，形成了一个电场，叫做"自建电场"。这一电场阻止空穴继续往N型区跑，也阻止电子继续往P型区跑，最后达到了平衡，如图45所示。因而P-N结是没有电流的。

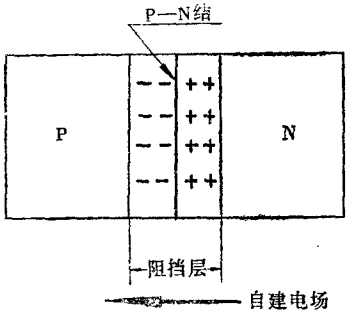
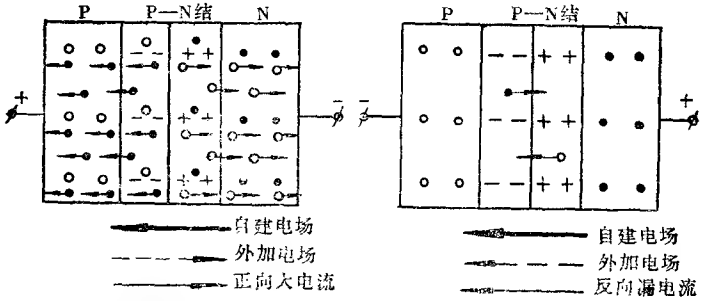


图45　P-N结阻挡层示意图

当P-N结上加正向电压时，如图46甲所示，这时正向电压和自建电场的方向相反，它削弱了自建电场，并且推动P型区的空穴，通过P-N结不断地向N型区移动，同时也推动N型区的电子通过P-N结不断地向P型区移动。由于P型区空穴很多，N型区电子很多，这股电流就很大。也就是说，



甲、加正向电压时，P-N结多数载流子的移动

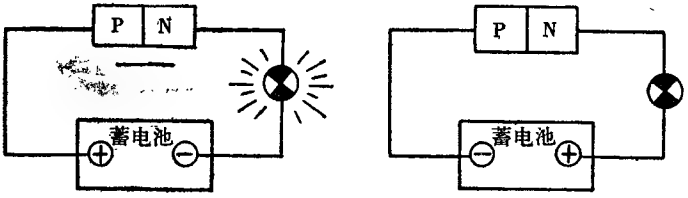
乙、加反向电压时，P-N结少数载流子的移动

图46　P-N结整流示意图

在P-N结上加正向电压时，大电流不断地通过P-N结。

相反，当在P-N结上加反向电压时，如图46乙所示，所加电压和自建电场方向相同，加强了自建电场，进一步阻止空穴、电子的移动，即阻止了多数载流子的移动，大电流不能通过P-N结（P型半导体靠空穴导电，但是，里面也存在着少量的电子，通常把空穴叫做P型半导体里的“多数载流子”，简称“多子”，而把P型半导体里的电子叫做“少数载流子”，简称“少子”；N型半导体主要靠电子导电，也存在少量的空穴，因而，N型半导体里的电子就是多子，空穴则是少子）。但半导体中还存在少数载流子。这时，外电场又同时推动着少子，使P型区的电子流向N型区，N型区的空穴流向P型区，形成反向电流。由于少子很少，所以反向电流很小，这股电流也叫做反向漏电流。

我们如果在P-N结上加正向及反向电压，并串联一个灯泡时，就可以发现：当加正向电压时，灯泡就亮（如图47甲）；加反向电压时，灯泡不亮（如图47乙）。



甲、加正向电压时　　乙、加反向电压时

图47　P-N结外加电压时情况

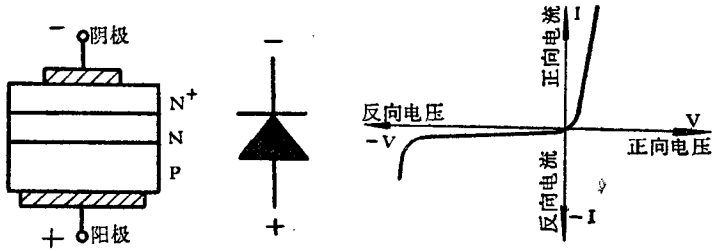
由上述可知，半导体掺杂后，加正向电压时，具有良导体的作用；加反向电压时，具有绝缘体的作用。这就是P-N结的整流特性。

第四节　半导体二极管

目前我国生产的半导体二极管有整流、稳压、检波、开关、变容等许多种类。它们的基本结构和工作原理大致相同。为了汽车交流发电机的需要，生产了特殊的硅整流二极管，并已得到了广泛的应用。现对汽车交流发电机及晶体调节器有关的几种元件作简单的介绍。

（一）汽车交流发电机用整流二极管

汽车交流发电机用整流二极管是利用 P-N 结的整流特性，以半导体硅材料为主体而制成的一种固态整流元件。它的原理结构、符号标记、伏-安特性如图48所示。



甲、原理结构　　乙、符号标记　　丙、伏-安特性

图48　整流二极管的原理结构、符号、伏-安特性

图49表示国产汽车交流发电机用硅整流二极管的结构及外形。二极管底座的外圆是滚花的。花纹的规格是：滚花节距0.6毫米，齿顶宽0.2毫米。二极管装到发电机内是靠滚花的外圆轻压配到相应的孔中。表 4 列出了五种硅整流二极管的外形尺寸及其相应配合的孔径尺寸。

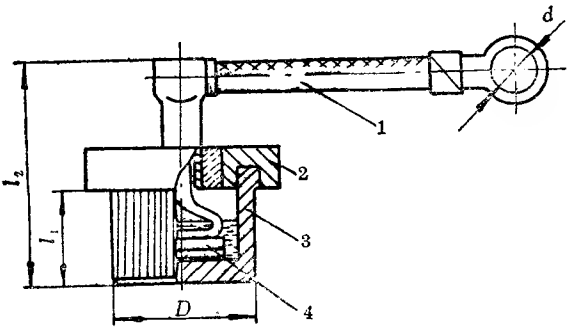
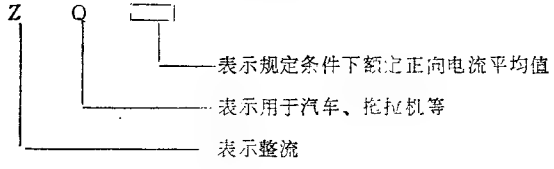


图49 硅整流二极管的结构和外形尺寸图
1-中心电极引出线；2-带绝缘子的盖子；3-铜外壳；4-P-N-N⁺整流结

硅整流二极管的外形尺寸及配合孔径 表4

型 号	D (毫米)	l_1 (毫米)	l_2 (毫米)	d (毫米)	相应的配合孔径 (毫米)
ZQ10	$\phi 13^{+0.15}_{+0.08}$	8	19	$\phi 4.2$	$\phi 13^{+0.027}$
ZQ15					
ZQ20					
ZQ30	$\phi 19^{+0.18}_{+0.10}$	14	35	$\phi 5.2$	$\phi 19^{+0.033}$
ZQ50					

硅整流二极管的命名及符号代表含义如下：



为了适应汽车交流发电机的需要，所生产的ZQ型硅整流二极管分为正极二极管与负极二极管二种。所谓正极二极管，就是指中心引出线的电极为阳极，外壳为阴极，电流由

中间引出线的电极流向外壳，元件的底部用红字标记；所谓负极二极管，就是指中间引出线的电极为阴极，外壳为阳极，电流由元件的外壳流向中间引出线，元件的底部用黑字标记。就是说，正极或负极二极管都是指中间引出线的电极极性而言的。有的工厂把它们叫做正向二极管、反向二极管；也有的工厂从制造工艺角度出发，叫做正烧二极管、反烧二极管。图50甲、乙分别表示正极二极管及负极二极管的电流方向。

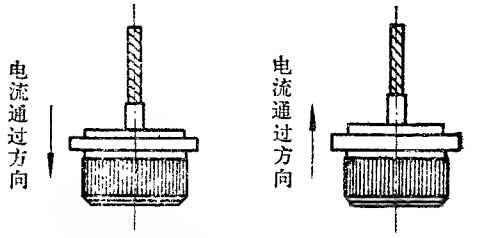


图50　正极、负极二极管的电流方向

硅整流二极管的主要技术参数　　表5

型号	额定正向平均电流 I_F (安)	5分钟过载倍数 (%)	反向不重复峰值电压 V_R (伏)	反向不重复平均电流 I_{RS} (毫安)	通态平均电压降 V_F (伏)	额定结温 T_{jm} (℃)	额定结温升 Δ_{jm} (℃)
ZQ10	10	125	≥200	≤2	≤0.60	150	75
ZQ15	15	125	≥200	≤3	≤0.60	150	75
ZQ20	20	125	≥200	≤4	≤0.60	150	75
ZQ30	30	125	≥200	≤5	≤0.60	150	75
ZQ50	50	125	≥200	≤6	≤0.60	150	75

注：反向不重复峰值电压的一半称为反向重复峰值电压或反向工作峰值电压，相应的漏电流称为反向重复平均电流。

硅整流二极管的主要技术参数见表5。

硅整流二极管的制造方法分合金法、扩散合金法和双扩散法三种。合金法是在N型硅单晶片的一面叠一片铝箔，另一面叠一片含锑的合金，再叠上电极片，然后在高真空炉内进行烧结，一次形成P-N-N^+的整流结。扩散合金法是在N型硅单晶片涂以三氧化二硼或其他P型杂质，在扩散炉内进行涂层扩散，形成P-N结，然后磨去一面，用合金法形成P-N-N^+的整流结。双扩散法也是在N型硅单晶片上涂以三氧化二硼或其他P型杂质，在扩散炉内进行扩散，然后磨去一面，并涂以五氧化二磷或其他N型杂质，在扩散炉内进行扩散，形成P-N-N^+的整流结（现在也用先扩N^+后扩P-N结的扩散工艺）。双扩散法是目前采用最广泛和比较先进的方法。它具有适于大批生产、又能可靠保证质量、节约原材料等优点。

制好的P-N-N^+整流结，在真空或气体保护的焊接炉内焊到整流二极管的管壳里，然后盖上带绝缘子的盖子并密封，焊上外引线，即成为一个完整的硅整流二极管。

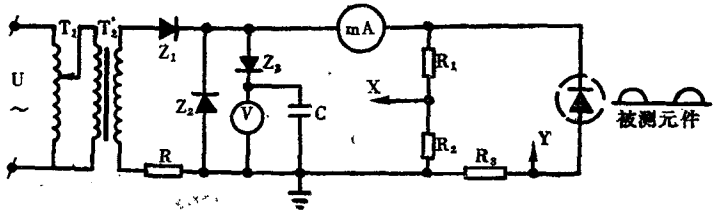


图51 伏-安特性测试原理线路图

硅整流二极管质量的好坏，必须通过各项试验检查才能确定。元件的伏-安特性是检查的主要项目，即在单相工频正弦半波的电源上，检查元件的反向最高测试峰值电压及其在此电压下的平均漏电流，和正向平均电流值及其在此电流

下的电压降。反向工作峰值电压为最高测试峰值电压的二分之一。测试台的原理线路图见图51和图52。

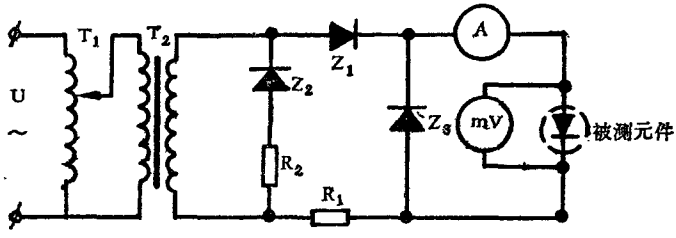


图52　正向平均电流测试原理线路图

测量伏-安特性时，接线如图51所示。电源由220伏工频交流电源、0.5千伏安的自耦变压器 T_1 和升压变压器 T_2 所组成。经过整流二极管 Z_1 与 Z_2 和负载电阻 R 进行整流，供给被测元件以直流电源。当 T_2 出现正半波电压时，电流经 Z_1、直流电流表 mA、被测元件、负载电阻 R 等元件形成回路。电压加在被测元件上，用高内阻峰值直流电压表 V、旁路电容 C 测量其电压峰值。Z_3 是一个反向漏电流极小的二极管，供电压测量用。用 R_1、R_2 分压和通过 R_3 的电流比值接到示波器的 X 轴和 Y 轴，可以清楚地看出被测元件的伏-安特性曲线图。当 T_2 出现负半波时，电流经 R、Z_2、Z_1 成为回路，被测元件没有加上电压，而全部电压加在 Z_1 上。因此要求 Z_2 的正向电阻小，而 Z_1 的反向电阻大。

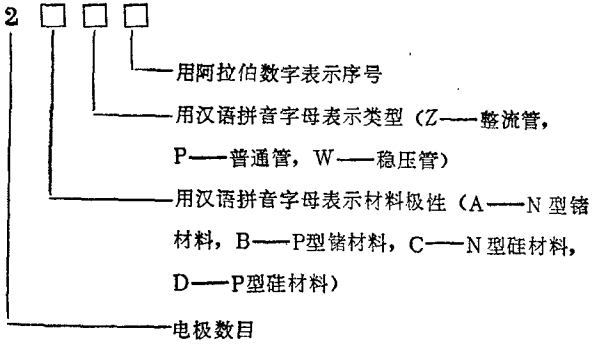
测量元件的正向特性时，接线如图52所示。电源由工频交流电源、自耦变压器 T_1 和低压大电流变压器 T_2 组成，通过整流二极管 Z_1、Z_2，电阻 R_1、R_2 进行整流。当 T_2 正半波时，电流经 Z_1、直流电流表 A 和被测元件、负载电阻 R_1 组成回路。当 T_2 负半波时，电流经 R_2、Z_2 组成回路。为了测量准确，要求 T_2 工作在非饱和状态，调整 R_1、R_2，使正负电流波形一致，保证测量准确。

由于汽车、拖拉机的特殊要求，元件在－40°C 到＋75°C 的环境温度下应能正常工作。因此规定元件在－40°C 和＋150°C 的环境温度下，反向特性仍要符合技术条件的要求，结温升不得超过75°C。为了适应发电机过载的要求，元件应有能承受125%五分钟和200%五秒钟的过载能力，另外，对元件还应作漏气检查、振动试验、寿命试验等，全面鉴定硅整流二极管的质量。

（二）常用的一般二极管

根据外形、结构、材料、功率、用途等，常用的二极管可分为各种类型。它们的原理结构、符号和伏-安特性与上述汽车交流发电机用整流二极管相同。二极管按内部结构（接触形式）来分，有点接触和面接触两种；按制造的材料来分，有硒整流元件、锗二极管和硅二极管等；从用途来分，有整流、检波管等；按功率分，则有大功率管和小功率管等。

二极管的型号标记，按国家标准 GB249-74《半导体器件型号命名方法》规定分为四部分，其标记内容如下：



普通二极管的品种很多。它们的参数各有不同。表 6 列举几种常用的二极管参数，供选用时参考。

部分常用二极管参数　　表 6

型　号	主要用途	最大整流电流 I_{OM}	最高反向电压，峰值 V_{RM}（伏）
2AP1	检波、整流	16mA	20
2AP3	检波、整流	25mA	30
2AP5	检波、整流	16mA	75
2AP7	检波、整流	12mA	100
2AP12	检波、整流	40mA	10
2AP26	检波、整流	16mA	100
2CP1	整　流	400mA	100
2CP4	整　流	400mA	400
2CP6F	整　流	100mA	800
2CP20	整　流	5～100mA	600
2CP21	整　流	300mA	100
2CP25	整　流	300mA	500
2CP33D	整　流	500mA	200
2CP46	整　流	100mA	300
2CP55	整　流	75mA	250
2DP1	整　流	100mA	600
2DP1D	整　流	100mA	1000
2CZ11	整　流	1A	50～800
2CZ13	整　流	5A	50～600
2CZ-1	整　流	1A	30～1000
2CZ-5	整　流	5A	30～1000
2CZ-10	整　流	10A	30～1000
2CZ-200	整　流	200A	30～1000

上列一般二极管的主要任务是整流和检波。整流电路分单相半波、单相全波、单相桥式和三相桥式等类型。由于线路不同，整流出的电压波形也不同，但整流的原理是一样的（见第一章）。

另外，二极管与电容、电感配合还可以制成各种式样的滤波器等。二极管的其他一些用途，这里不作介绍了。

（三）稳压二极管

稳压二极管又叫齐纳二极管。它的结构原理与其他二极管相同。它的符号标记如图53所示。

稳压二极管的正向特性和一般二极管完全一样，正向电阻几乎等于零；反向特性则和电子稳压管特性一样。如果在稳压二极管两端加上反向电压，在电压达到某一数值之前，电流值极小，管子不导通。但当电压超过这一数值以后，电流便急剧增加，以致产生击穿现象，管子呈现反向导通。产生这种击穿的原因，一个是电子“雪崩”，另一个是齐纳效应（内电场激发）。大致上管子在击穿电压超过 6 伏时，是由电子“雪崩”造成的；而击穿电压低于 6 伏时，是由齐纳效应造成的。

图53　稳压二极管的代表符号

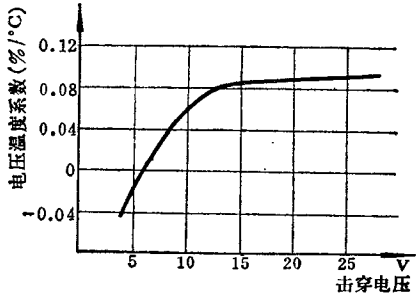


图54　击穿电压和电压温度系数的关系

稳压二极管的击穿电压，其理想值应该是固定不变的，

但实际上与其他因素有关。首先，当电流增加时，电压也有某种程度的增高，选用管子时，电路必须特别注意这一点。另外，管子的击穿电压随温度的变化而变化。一般来说，在“雪崩”击穿时，温度系数为正；在齐纳效应(内电场激发)时，温度系数为负。图54表示击穿电压随温度变化的关系。

因此，在使用中，特别是把击穿电压作标准电压使用时，适当加设补偿装置是必要的。

稳压管在击穿后通过一定的电流，当此电流超过一定数值时，将使P-N结烧坏，管子不能再用，故在使用时，必须很好选配线路，管子的工作电流不能超过其允许的最大电流。

稳压二极管的稳压原理电路如图55所示。输出电压U_o即为稳压二极管的稳定电压，它略大于稳压二极管的反向击穿电压。

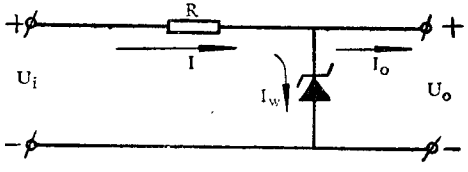


图55　稳压原理电路图

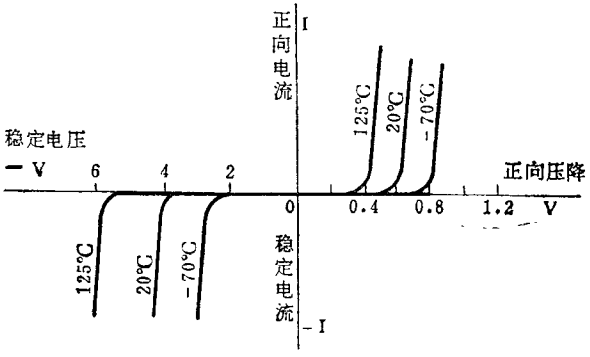


图56　稳压二极管的伏-安特性

稳压二极管的品种很多，表7列举部分稳压管的参数，供选用时参考。

稳压二极管的特性如图56所示。从图中可以看出，正向的电压降和反向的稳定电压随温度变化而稍有变动。

稳压二极管与电阻等配合，可以得到一定的电压电源，广泛用作标准电压和在保护电路中使用。第三章讲到的晶体管调节器就要使用这种稳压二极管。

稳压二极管参数　　表7

型　号	稳定电压(V)	稳定电流(mA)	电压温度系数(%/℃)	最大稳定电流(mA)
2CW1	7～8.5	5	≤0.07	33
2CW6A	7～8.5	5	≤0.07	29
2CW15	7～8.5	5	0.07	29
2CW20	13.5～17	5	0.095	15
2CW22I	13.5～17	100	0.1	150
2DW6B	14	30	0.04	75
2DW8C	5～6	10	<0.05	30
2DW12C	7～8.5	10	0.01～0.08	30
1W90	85～95	5	0.1	10
3W60	55～65	20	0.1	46
3W100	95～105	8	0.1	28
10W8	7～8.5	150	0.06	1100
10W60	55～65	50	0.1	150
50W16	13～17	1000	0.075	2900

第五节　半导体三极管

半导体三极管比半导体二极管多一个极，从外形来看，三极管一般有三个极（大功率三极管外壳是一个极）。

如前节所述，半导体二极管有一个P-N结。如果我们以半导体锗或硅材料制造二个P-N结，就形成半导体三极管了。根据组合方式不同，半导体三极管有P-N-P型和N-P-N型二种，但它们的工作原理是相同的。半导体三极管共有三个不同的导电区域：P-N-P型半导体三极管中间是N型区，二边是P型区，N-P-N型半导体三极管中间是P型区，二边是N型区。中间区域的电极称为基极，用 b 表示，其他二边一端是发射极，用 e 表示，一端是集电极，用 c 表示。其中发射极和基极形成一个P-N结，叫做发射结，集电极和基极形成另一个P-N结，叫做集电结。

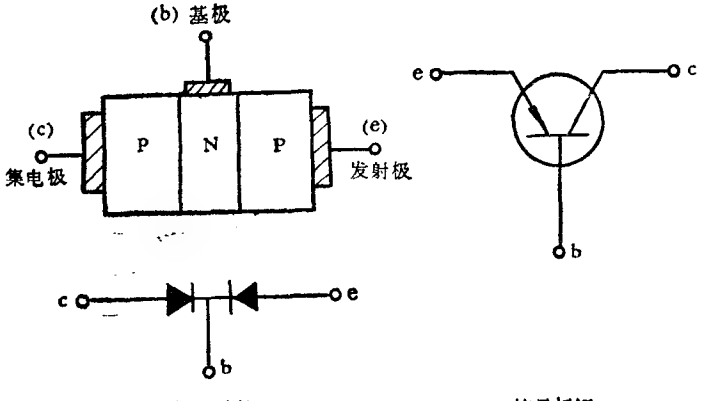
半导体三极管的原理结构和符号标记如图57所示。

目前，汽车电器正在向电子化方向发展，半导体三极管则是各种电子设备中的主要元件之一，第三章中讲到晶体管调节器时就要应用三极管。

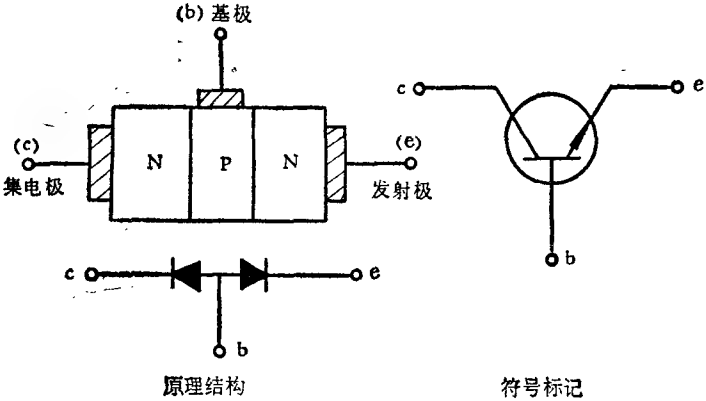
（一）三极管的工作情况

P-N-P型三极管所发射的载流子为空穴；N-P-N型三极管所发射的载流子为电子。虽然它们所发射的载流子不同，但它们的工作情况是一样的。为了简单地说明三极管的工作情况，以P-N-P型半导体为例进行分析。

把三极管接成如图58所示的线路，当发射极与基极间外加正向电动势 E_b 时，则发射极 e 和基极 b 之间加上正向电压



甲、P-N-P型三极管



乙、N-P-N型三极管

图57　三极管的原理结构和符号标记

U_{eb}（称为基极电压或偏压），在发射极 e 与集电极 c 之间加上较大的反向电压 U_{ec}（称为集电极电压）。这时线路中就有三个电流：发射极电流用 I_e 表示，基极电流用 I_b 表示，集电极电流用 I_c 表示。

为了了解晶体三极管电流的相互关系和放大作用，在图

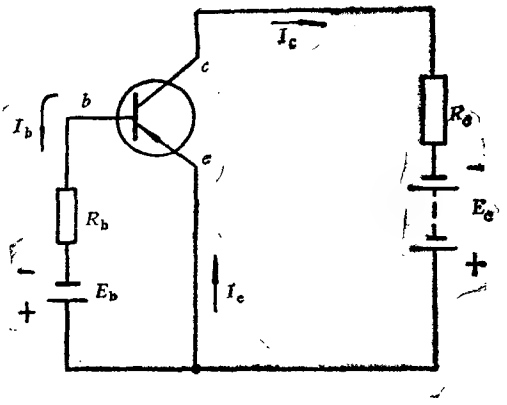


图58　P-N-P 型三极管电流流动示意图

58中串接入三个电流表，如图59所示，用来测量晶体管的三

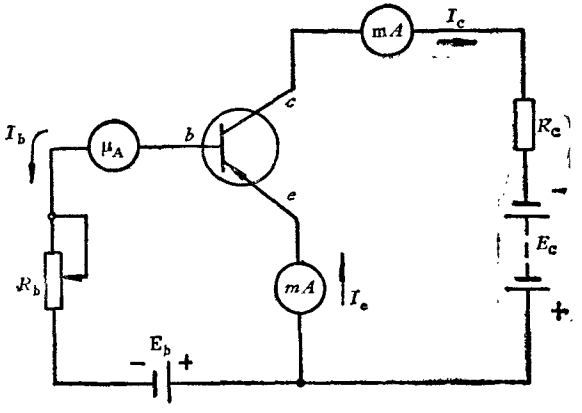


图59　测量三极管的电流

个电流。通过调节电位器 R_b 不断改变基极电流 I_b 的大小，便可以相应地测得一组集电极电流 I_c 和发射极电流 I_e 的数值，如表 8 所列。

三极管三个电流的关系　　表8

I_b（毫安）	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06
I_c（毫安）	0.55	0.10	1.94	2.69	3.41	4.62
I_e（毫安）	0.55	0.11	1.96	2.72	3.45	4.68

从表8中可以看出，晶体管三个电流的关系为：

$$I_e = I_b + I_c \text{ 。}$$

上式说明发射极电流等于基极电流与集电极电流之和，其中基极电流很小，发射极电流大部分流向集电极，可以形象地用图60来表示。

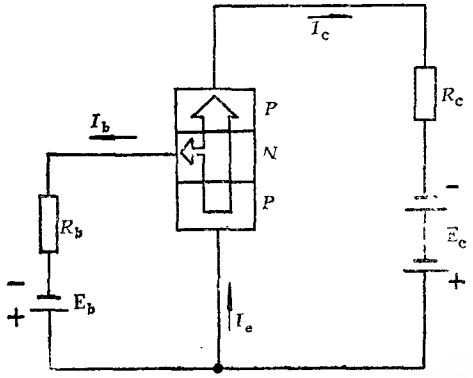


图60　三极管发射极电流流向基极和集电极的分配示意图

基极电流 I_b 由0.02毫安增加到 0.04 毫安时，集电极电流 I_c 就由1.94毫安增加到3.41毫安。即 I_b 变化0.02 毫安，I_c 就变化了1.47毫安。这两个变化量相比

$$\frac{3.41-1.94}{0.04-0.02}=\frac{1.47}{0.02}=73.5$$

也就是说，集电极电流 I_c 的变化比基极电流 I_b 的变化大73.5倍。这就是共发射极电路的电流放大系数，通常用β来表示。

$$\beta=\frac{\text{集电极电流 } I_c \text{ 变化量}}{\text{基极电流 } I_b \text{ 变化量}}=\frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$$

（Δ 表示微小的变化量）

β 是晶体三极管主要参数之一，β 值的大小除由半导体材料的性质、管子的结构和工艺决定外，还与管子工作电流大小有关。也就是说，这只管子在不同的工作电流下 β 是不同的。从表 8 中可以看出，不同的 I_c，β 也不同。

由于晶体三极管具有放大能力，常用来作放大器。放大器一般有二端作输入信号端，另二端作输出信号端，而三极管只有三个电极，因此，势必有一个电极作为输入与输出信号的公共端。由于公共端的选择方式不同，晶体管可以有三种不同的连接方式。上面讲到的是共发射极电路，就是公共端是发射极，输入电流为 I_b，输出电流为 I_c。图61是共基极电路，它的公共端是基极，输入电流为 I_e，输出电流为 I_c，电流放大系数用 α 表示，$\alpha=\frac{\Delta I_c}{\Delta I_e}$，其值总是略小于 1，通常 α = 0.9～0.99。由此可知，共基极电路没有电流放大作用，常用来作电压放大和功率放大。根据 $\beta=\frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$ 和 $\alpha=\frac{\Delta I_c}{\Delta I_e}$ 可找出 β 与 α 之间的关系为 $\beta=\frac{\alpha}{1-\alpha}$。

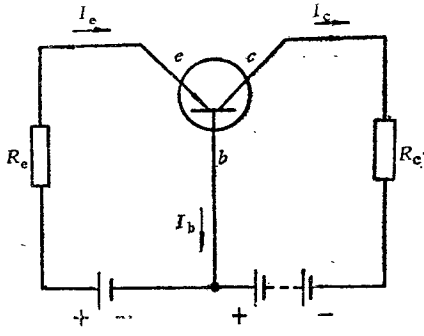
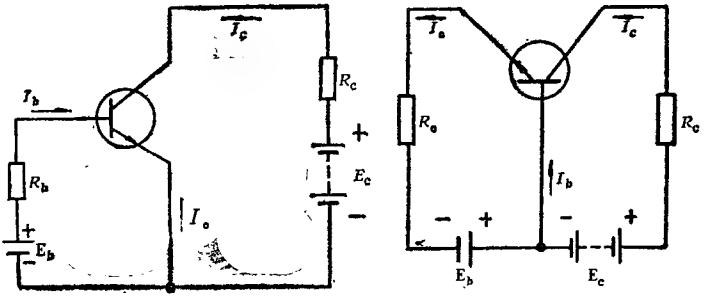


图61　P-N-P 型三极管共基极电路

共集电极电路的公共端是集电极，输入电流为 I_b，输出

电流为 I_{eo}。

上面讲到的是 P-N-P 型晶体管的工作原理。N-P-N 型晶体管的工作原理与 P-N-P 型基本一样，只要电路中外接电源方向相反，电流方向也相反，如图62所示。



甲、共发射极电路　　乙、共基极电路

图62　N-P-N 型三极管工作原理

（二）三极管的主要特性

晶体三极管有二个 P-N 结：一个在输入回路，在正向电压下工作，一个在输出回路，在反向电压下工作，而且两个 P-N结间有密切的联系。因此，晶体三极管有输入特性和输出特性两种。晶体三极管的这两个特性就可以代表它的主要性能。这两个特性可以从一般的晶体管手册中查到。

输入特性是指在集电极电压 U_{ec} 保持不同值条件下，晶体三极管的输入电路中，加在发射极 e 与基极 b 间的电压 U_{eb} 与它所产生的基极电流 I_b 之

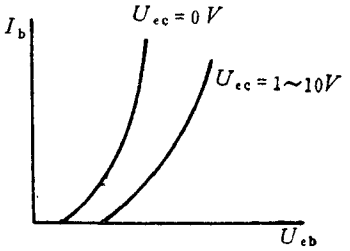


图63　共发射极三极管的输入特性

间的关系曲线，如图63所示。从图中曲线可以看出，U_{cb}和基极电流I_b的关系是非线性的。这同二极管正向伏安特性相似。从输入特性曲线中可以看出，晶体三极管在正常工作时的U_{cb}是很小的，仅零点几伏。如果太大，会导致基极电流I_b急剧增加而损坏晶体三极管。

输出特性是指它的输出电流I_c（集电极电流）与输出电压U_{ec}（发射极与集电极的电压）在输入电流I_b（基极电流）为不同值条件下的关系曲线，如图64所示。从图64中可以看出：

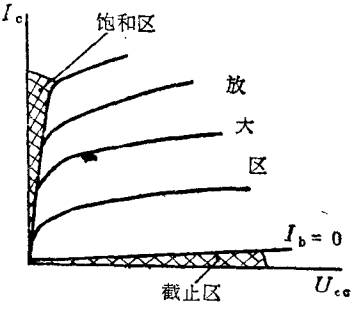


图64　共发射极三极管的输出特性

1.在U_{ec}超过很小的电压之后曲线很平坦，这是因为当集电极电压增大后，原来流向基极的电荷绝大多数被集电极吸引过去了，所以集电极电压再增加，电流I_c变化很小。

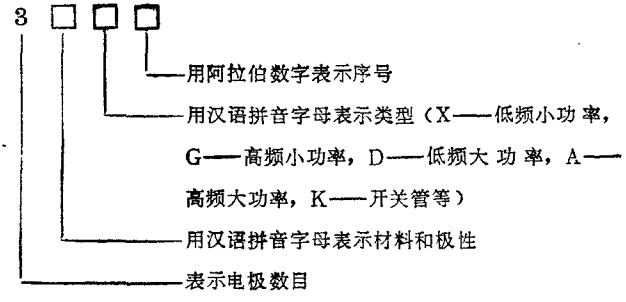
2.在基极电流I_b不同时，曲线只是上下平行移动。这说明当I_b有一个很小的变化，集电极电流I_c将产生很大的变化。所以，曲线平行间隔的变化直接反映了电流放大系数β的大小。

3.在$I_b = 0$时，I_c并不等于零，这电流称为穿透电流（或称漏电流），$I_b = 0$的曲线以下的区域为截止区。

当U_{ec}较小时，集电极电流I_c随I_b变化很小，这个区域称为饱和区。间隔平坦的区域，称为放大区。放大器的工作范围就在放大区内建立工作点。

（三）三极管的型号和参数

半导体三极管型号系根据国家标准GB249-74《半导体器件型号命名方法》统一命名，其名称和代表符号的含义如下：



半导体三极管的参数很多，现将几个主要参数加以说明：

1.BU_{cbo}——发射极开路，集电极与基极间反向击穿电压（伏）；此情况下的反向截止电流为I_{cbo}。测量线路见图65甲。

2.BU_{ceo}——基极开路，集电极与发射极间反向击穿电压（伏）；此情况下的反向截止电流为I_{ceo}。测试线路见图65乙。

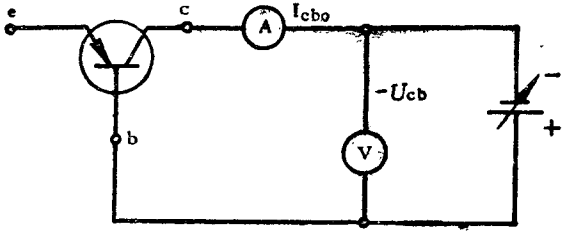
3.BU_{ebo}——集电极开路，发射极与基极间反向击穿电压（伏）；此情况下的反向截止电流为I_{ebo}。测试线路见图65丙。

4.h_{FE}——共发射极静态正向电流放大系数。如图66所示，固定U_{ec}，调节I_b，使I_c达到要求值，读出I_b，则I_c/I_b即为h_{FE}。

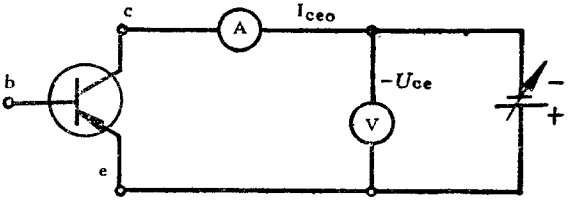
5.I_{cM}——集电极最大电流。

6.P_{CM}——集电极最大耗散功率。

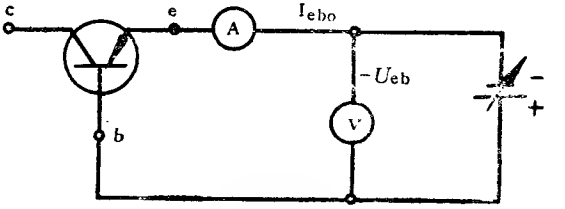
7.T_{jM}——最高结温。



甲、BU_{cbo}测试线路



乙、BU_{ceo}测试线路



丙、BU_{ebo}测试线路

图65　反向击穿电压测量示意图

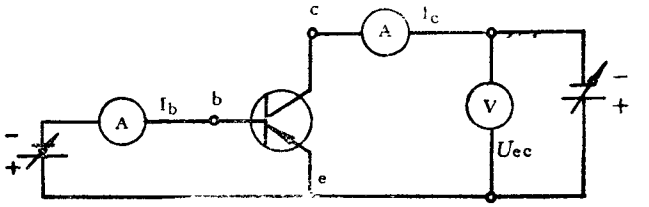


图66　h_{FE}测试线路示意图

三 极 管 参 数

表 9

型 号	用 途	直流参数			极限参数					
		I_{cbo} (μA)	I_{ceo} (μA)	h_{FE}	BV_{cbo} (V)	BV_{ceo} (V)	BV_{ebo} (V)	I_{cM} (mA)	P_{cM} (mW)	T_{jM} (℃)
3AX1	低频放大和低速开关	≤30	≤250		30	≥10		10	150	75
3AX22	低频放大	≤12	≤300	40～150	≥30	≥18	≥18	100	125	75
3AX26	低频、中频放大及振荡电路	≤30		20～200	20		10	200	200	
3AX45A	代替3AX81，功率放大	≤30	≤1000	20～250	20	10	7	200	200	75
3BX1A	低频放大	≤30			≥25	≥10	≥25		150	75
3DX2A	低频放大	≤5	≤25	10～20	≥30	≥15		100	500	150
3AD4	低频功率放大	≤400		≥20	70			1.5A	10W	
3AD6A	功率放大、低速开关、直流变换	≤400	≤2500	≥12	50	18	20	2A	10W	90
3AD12	同上	≤400		15～40	70			5A	20W	90
3AD18D	同上	≤1000		≥25	120	60	80	15A		90
3AD30C	同上	≤500	≤10	12～100	70	24	20	4A	20W	85
2Z730C	同上	≤0.2mA		≥20	100	60	20	15A	50W	100
3DD5F	同上	300		≥10		100	≥ 4	2.5A	25.5W	175
3AG31	中频放大、振荡及直流放大	≤8		>20	30		4	50	75	85
3DG4D	高频放大及振荡电路	≤1		20～180	≥20	≥15	≥ 4	30	300	150
3AK5C	中速开关电路	<5		30～150	35	15	3	35	50	
3DK10D	高速中功率饱和及非饱和脉冲	≤10	≤50	20～200	≥100	≥80	≥ 5	1.5A	4W	200

半导体三极管的型号品种很多，根据需要表9列举部分三极管的参数，供使用时参考。

各种半导体三极管的外形尺寸和管脚的位置根据功率、用途和型号有所不同。为了使用时方便，兹列举几种三极管的管脚标志。图67甲表示3AX1～10、3AX25、3AX34、3AX41、3BX1、3DX1～3等三极管的三个管脚。图67乙表示3AX21～24、3AX27～31、3AX42、3AX45、3AX61～63、3AG 1～4、3MG 6～14、3AG 19～20、3AG 30、3CZ 143～147、3BG1、3DG5、7、8、3AK5、3AK34、3DK5和3DK10等三极管的三个脚。图67丙表示3AD1～5、3AD11～17等三极管的三个脚。图67丁表示3AD18系列等三极管的三个脚。图67戊表示3AD6、3AD30、3DD2～6等三极管的三个脚。三极管的性能与周围环境温度和结温升有很大关系，温度升高，将使特性变坏。因此元件必须在规定的散热条件下工作，如果没有达到规定的散热条件，应将三极管极限电流值降低使用。

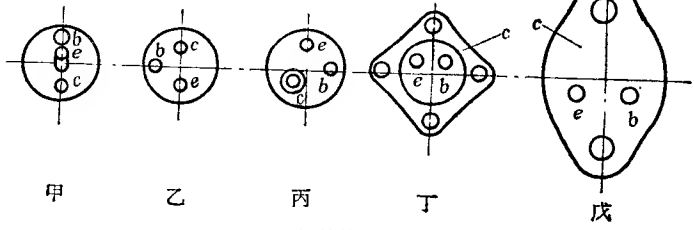


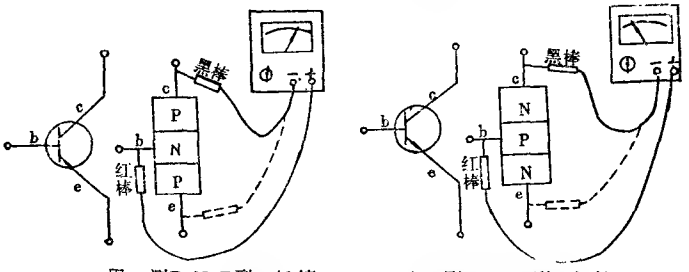
图67　三极管管脚位置示意图

（四）三极管的简单检查方法

半导体三极管质量检查应该在专用设备上进行，但在条件较差时或为了工作简便，也可以用万用表粗略地进行判断。

首先谈谈管脚的识别。三极管管脚一般都有标记；或者

已知三极管型号，可以在半导体三极管手册上查到 e、b、c 三个管脚。但当标记不清或找不到标准手册时，可以用万用表来判断（图68）。先判断基极 b，用万用表电阻档（$R\times100$



甲、测P-N-P型三极管　　乙、测N-P-N型三极管

图68　测试三极管管脚

或$R\times1000$）测量晶体三极管P-N结阻值的特性（黑棒是表内电池正极，红棒是表内电池负极）。测试时可以任意选取三个极中一根先假定为基极，把万用表的红棒接“基极”，黑棒分别接另二个头，如果测得均为低阻值，则红棒接的是所要找的基极，而且管子是P-N-P型的。再把红黑棒对调一下（即黑棒接基极，红棒分别接另二个头），若读数均为高阻值，则上述判别的基极是正确的。如果红棒接触“基极”照上述所测结果均为高阻值，黑棒接触“基极”测得结果均为低阻值，则所接的“基极”是N-P-N型的基极。若测得结果一个是高阻值另一个是低阻值时，则说明原来假定的“基极”错了，需另换一个头作“基极”再测试。

把基极 b 找出来后，再找发射极 e 和集电极 c。先假定红棒接的是集电极 c，黑棒接的是发射极 e，再用手指捏住 b、c 二极，但不能使 b、c 直接相碰，并读出其阻值（如图69）。然后再把这个假定相反测试，比较其读数。若第一次阻值小，则第一次假定是对的，即红棒接的是集电极 c，黑棒接的即是发射极 e。

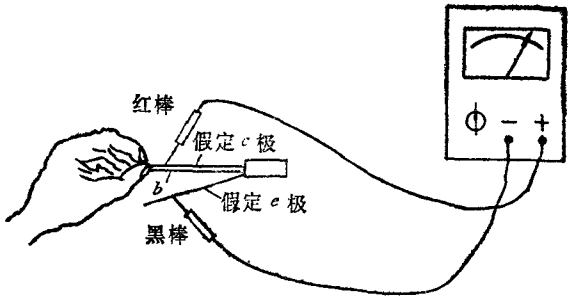


图69　测试三极管发射极和集电极

另外是判断管子的质量情况。用万用表同样可以粗略检查半导体三极管的好坏。测量P-N-P小功率管，将万用表电阻值档放在 $R\times100$ 档上。检查 e、c 极时，万用表“＋”接 c，“－”接 e，测得电阻值在数 $K\Omega$ 以上是正常的；若指针漂移或读数很小，则为三极管不好。检查 b、c 极时，万用表“＋”接 c、“－”接 b，测得电阻值在数百 $K\Omega$ 以上是正常的，否则不正常。检查 b、e 极时，“＋”接 e 而“－”接 b，测得电阻值，高频管 $R=20\sim30K\Omega$，低频管 $R=100K\Omega$ 左右是正常的。

测量 P-N-P 大功率三极管。检查 e、c 极时，将万用表放在 $R\times10$ 档。万用表“＋”接 c 而“－”接 e，读数 R 在百欧以上是正常的。检查 b、c 极时，将万用表置于 $R\times100$ 档，“＋”接 c 而“－”接 b，读数为 $10K\Omega$ 左右是正常的。检查 b、e 极时，万用表放在 $R\times100$ 档，“＋”接 e 而“－”接 b，读数为 $10K\Omega$ 左右是正常的。

测量 N-P-N 小功率管。将万用表置于 $R\times100$ 档。检查 e、c 极时，万用表“＋”端接 e 而“－”端接 c，此时读数越大则三极管越好。检查 b、c 极时，万用表“＋”端接 b 而“－”端接 c，此时读数越大则三极管越好。检查 b、e

极时，万用表“+”接b而“-”端接e，此时读数在500 KΩ以上为正常，否则半导体三极管不稳定。

为了避免半导体三极管的损坏，使用中不能使其参数超过规定的极限值；接通电路时，应先接通基极；在发射极与集电极之间有电压时，不得断开基极电路。半导体三极管安装时，必须装得牢固可靠，保证散热和导电良好；安装的环境应有良好的散热条件，以免三极管损坏。焊接半导体三极管时，应使用低温焊料；电烙铁的功率不宜大，在25～75瓦之内为宜；焊接点距管壳应在10毫米以上。

第三章　汽车交流发电机调节器

第一节　调节器的用途

汽车上的发电机由发动机带动，它的转速随发动机的转速在一个很大的范围内变化。发电机感应产生的电压与其转速成正比。发电机的转速高，产生的电压也高；发电机的转速低，产生的电压也低。为了使发电机的电压在不同转速时保持在一规定的数值，就需要有一个装置与发电机配合一起工作，自动地调节发电机发出的电压。这个调节装置，在使用交流发电机时就是电压调节器。

发电机发出的电压高过一定值，就会把汽车上的灯泡及其他用电设备烧坏。图70表示汽车上发电机电压对灯泡发光强度及使用寿命的关系特性。从图中可以看出，当电压超过14伏时，由于通过灯丝的电流加大，所以发光强度也大，但它的使

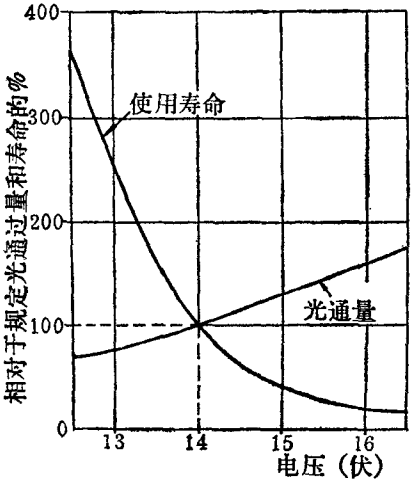


图70　汽车灯泡光通量与使用寿命随电压而变化的特性

用寿命却降低很多；当电压比较低时，它的使用寿命延长很多，但发光强度也降低。所以在汽车不同行驶速度及用电设备不同负荷条件下，要通过一个电压调节器来控制发电机发出的电压，使维持在一规定值。

蓄电池的使用寿命与充电电压也有着密切的关系，表10是从试验统计得到的光电电压与蓄电池使用寿命的关系。

蓄电池使用寿命与充电电压的关系 表10

蓄电池容量（安培·小时）	蓄电池标称电压（伏）	蓄电池使用寿命				
		充电电压(伏)	13.5	14	14.5	15.5
54	12	汽车行驶里程（公里）	70000	64000	57000	20000
70	12		100000		87000	66000

从表10中的数据可以看出，当充电电压增高10～12%时，蓄电池使用寿命可能缩短2/3。因此，在整个汽车行驶过程中，维持发电机电压在一规定范围内，对保证汽车用电设备的性能和寿命是非常重要的。

第二节 调节器的工作原理

调节器的结构按有无触点，可分为电磁振动触点式调节器、晶体管调节器及上述两种结构组合成的混合式调节器三种。电磁振动触点式调节器，按触点对数分，有一对触点振动工作的（称单级式）及二对触点交替振动工作的（称双级式）。兹将它们的工作原理叙述于后。

（一）单级电磁振动式调节器的工作原理

参阅图71，圆柱铁芯5由导磁好的纯铁制成（材料为DT1，YB 206—70），在铁芯上绕有线圈4，此线圈接到发

电机火线上。铁芯5固定在材料相同但形状是扁状的磁轭3上。工作时振动的衔铁7（由DT1E纯铁板制成），用铰链8与磁轭固定。衔铁的一端装有纯钨制的触点9，与纯钨制的静触点10配成一组触点。静触点10的支架6，通过绝缘条11固定在磁轭上（与磁轭绝缘）。磁轭、铁芯、衔铁形成调节器的磁路系统。在衔铁的另一端挂有弹簧1，弹簧的另一端挂在支架2上。弹簧的张紧力使9、10两个触点紧密闭合，电路导通。调节弹簧的张紧力，便能改变发电机输出电压大小。附加电阻R与调节器的触点9及10并联，它安装在调节器底板下。

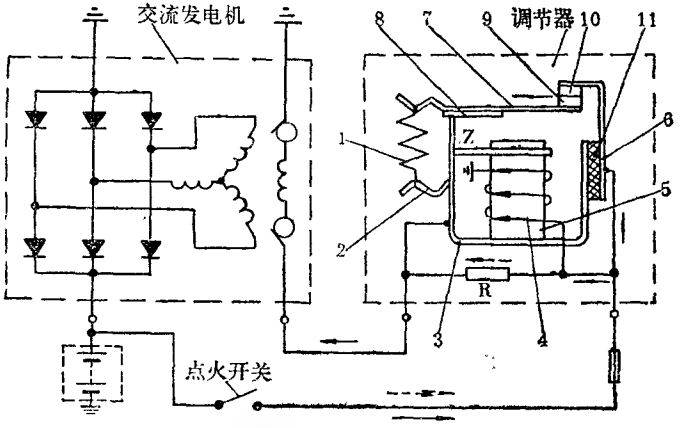


图71　单级电磁振动式调节器与交流发电机配合工作原理图
1-弹簧；2-支架；3-磁轭；4-线圈；5-铁芯；6-支架；7-衔铁；8-铰链；9、10-触点；11-绝缘条

在发动机起动前，先接通点火开关，此时蓄电池的电就通过调节器触点9与10向至电机激磁绕组，电流流向如图71实线箭头所示。同时电流也通过调节器线圈4。当发动机起动后，发电机的转速增加，电压超过蓄电池的端电压时，调

节器线圈4的电流也不断增大，线圈4产生的电磁吸力也增大。当电压增到一定值时，线圈4产生的电磁吸力稍大于弹簧1的张紧力，衔铁即被吸向铁芯，触点9与10分开。触点打开后发电机的激磁电流通过电阻R，电流方向如虚线箭头所示。由于发电机的激磁电路内接入电阻R，激磁电流减小，使发电机的电压也减小。此时流入调节器线圈4的电流也相应减小，线圈4产生的电磁吸力也就减小。在弹簧张力的作用下，触点又重新闭合，激磁电流不经过电阻R而又经过触点9与10。这样在转速不降低的条件下，电压又重新上升，当电压升到规定值时，调节器衔铁又被吸下。电阻R又接入激磁电路，电压又下降，从而使触点周期地打开和闭合，控制发电机电压在规定值。

交流发电机输出的电压大小与发电机的转速n和磁极的磁通Φ（由激磁电流通过激磁绕组产生）成正比，即

$$U = C_1 n \Phi$$

式中：C——比例常数。

当发电机转速增高时，要使电压保持在一定范围不变，须相应地减少磁通，也就是减少产生磁通的电流。上述调节器中的电阻R接入发电机激磁电路后，就达到这个目的。电阻的接入与隔开全靠调节器的一对触点。

触点打开时，电磁吸力F_M与弹簧力F_S平衡。线圈4使铁芯5产生的电磁吸力与流过该铁芯的磁通Φ'的平方成正比，即

$$F_M = F_S = C_2 \Phi'^2$$

此磁通与铁芯的线圈的安匝AW（流过该线圈的电流与线圈匝数的乘积）成正比，与该磁通流通的磁路的磁阻R成反比。衔铁与铁芯间的空气隙处的磁阻最大，其它地方的磁阻比较之下很小，可略去。空气隙长度δ愈长，磁阻愈大，

反之愈小。

可用下式表示：

$$\Phi' = \frac{AW}{R} = \frac{AW}{\delta C_3}$$

由此可得：

$$AW = C_4 \delta \sqrt{F_S}$$

磁化磁铁芯的安匝是由线圈4产生，其值为

$$AW = i_0 W_0 = \frac{U}{r_0} W_0$$

式中：i_0——电流强度；

W_0——圈数；

U——发电机端电压；

r_0——线圈电阻。

由此可得：

$$U = C_4 \frac{r_0}{W_0} \delta \sqrt{F_S} = C_5 \sqrt{F_S}$$

由上式可知，调节器的调节电压值与弹簧力的平方根成正比。因此，调节弹簧张力，即能改变发电机输出电压的大小。

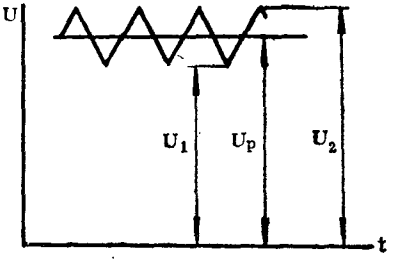


图72　与单级调节器配合工作的发电机电压变化曲线

调节器触点的工作频率，也就是电压的变化频率。图72表示与单级调节器配合工作的发电机电压在平均值U_p附近变动的曲线。电压为U_1时，调节器触点闭合。电压为U_2时，触点打开。

当触点闭合时，发电机电压的增加速度及触点打开时电压的下降速度，与发电机的转速有关。假如触点不打开，每给一个转速，发电机就可以发出某一电压值，转速愈高，这个电压值也就愈大。假如调节器的触点打开，由于激磁电路内接入电阻，磁场减弱，发电机的电压就要下降到某一数值，转速愈高，这个电压也就愈高。因此转速高时与转速低时相比较，调节器触点闭合时发电机的电压上升快，而在触点打开后，电压下降较慢。随着转速的变化，电压变化的齿形曲线也不同，见图73甲及乙。

如果在图73乙上，电压 U_1 和 U_2 处引与横座标轴平行的直线，从这二条直线与电压增长和下降曲线的交点，可以得

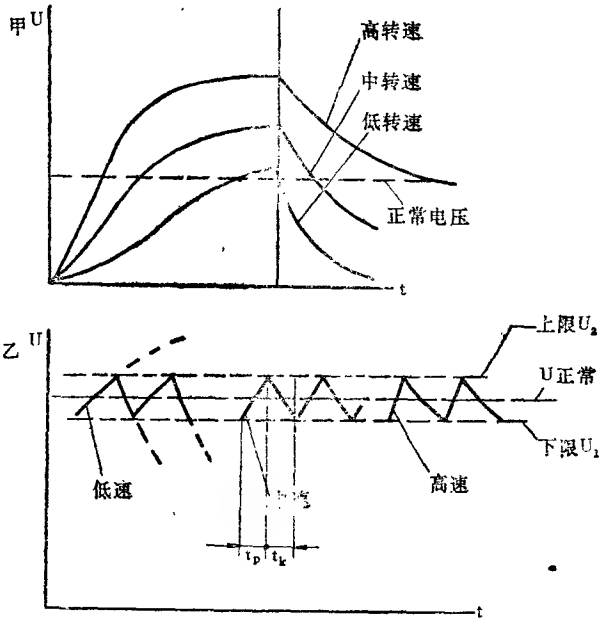


图73　发电机转速高低对触点闭合和打开时电压变化的影响

电压从U_1增加到U_2的时间t_p，电压从U_2减小到U_1的时间t_k。调节器触点振动的周期$T=t_p+t_k$。

从图73乙中可以看出，时间t_p随转速增加而减短。时间t_k随转速增加而加长。调节器的触点工作频率，在调节器全部工作范围内不是不变的，它在调节器工作开始和终止时，等于零，而在发电机的某一工况达到最大值。

附加电阻R的大小决定了发电机允许工作的最高转速。前面已讲过，要使发电机的电压保持在一定的范围内，当转速增高时，激磁电流就应减小。激磁电流随转速变化的关系近似地象一条双曲线，见图74。

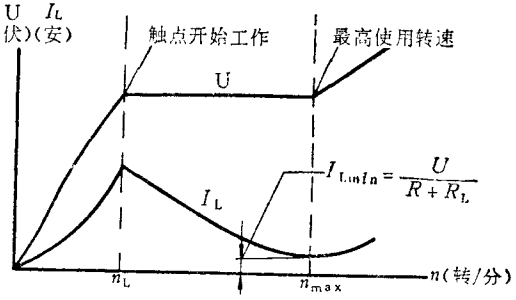


图74　发电机调节电压和激磁电流随转速而变化的关系曲线

如图74所示，随着发电机转速的增高，电压与激磁电流开始增大。到某一转速n_1，电压达到规定值，调节器触点开始工作。转速继续增高，电压就保持在规定值，而激磁电流开始下降。发电机转速再继续增加到n_{max}值时，调节器再不能满足更高转速的要求，此时触点全打开，激磁电流降到最小值，$I_{L\min}=\frac{U}{R+R_L}$（式中$U$发电机电压，$R$调节器附加电阻，$R_L$发电机激磁绕组电阻）。当发电机转速超

过n_{max}时，电压与激磁电流均开始很快增大，此时调节器已失去工作能力。所以调节器的附加工作电阻R，决定了发电机的最高工作转速。

上面讲的是发电机空载时的转速特性。当发电机有负荷时，激磁电流跟着负荷而加大（要补偿发电机本身由于有输出负荷而产生的电枢反应的去磁作用），激磁电流降至最小值I_{Lmin}的转速相应提高，也就是说发电机的最高使用转速跟着发电机输出负荷的增加而相应提高。

需要提高发电机的最高使用转速n_{max}，唯一有效的办法是增大调节器的附加电阻R值。但R与触点是并联的，过大的附加电阻会引起触点工作的恶化。电磁振动触点调节器最大的缺点就是它在工作过程中触点的很快磨损——电磨损和机械磨损。为了使电弧引起的触点磨损减小到最低的程度，在单级电磁振动式调节器中采用纯钨棒或粉末冶金钨片制成的触点。钨的临界起弧电流值很高，硬度大，抗电腐蚀和抗金属转移的能力都很强。在有电感的发电机与调节器联合工作的电路中，当电压为12伏时，通过触点的电流一般不大于2安培；当电压为24伏时，触点工作电流一般不大于1.25安培。触点在开断过程中，产生电弧的能量来自发电机的激磁绕组。触点间的电弧电流与激磁回路的参数有关。减小附加电阻可以缩短触点间电弧的燃烧时间，这是保护触点，减轻电磨损，提高触点断开能力的好办法。但是附加电阻减小后，发电机的最高使用转速降低。因此单级电磁振动式调节器一般满足不了发动机转速日益提高，发电机在较高转速下工作，以及增大激磁电流，缩小发电机的体积的要求。汽车交流发电机的激磁电流一般比传统的直流发电机大，故一般的单级电磁振动式电压调节器不能适应交流发电机工作的要求。由于单级电磁振动式电压调节器具有结构简

单、便于维修等优点，近年来，有的国家与交流发电机相配合工作的也有采用单级电磁振动式的电压调节器。为了解决触点容易烧蚀的缺点，在调节器的电气线路上采取了熄弧的措施，以提高触点的使用寿命。但是，目前与交流发电机配套使用的调节器大多采用双级电磁振动式及晶体管调节器。功率较大的交流发电机，已普遍采用了晶体管调节器。

（二）双级电磁振动式调节器的工作原理

图75是双级电磁振动式调节器的工作原理图。双级调节

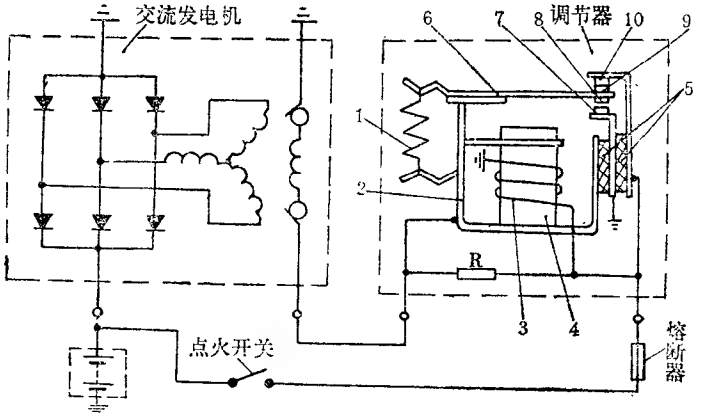


图75　双级电磁振动式调节器与交流发电机配合工作原理图
1-弹簧；2-磁轭；3-线圈；4-铁芯；5-绝缘条；6-衔铁；7～10-触点

器在第一对触点工作时，工作原理与单级电磁振动式调节器没有什么不同。但是因为在双级电磁振动式调节器中，附加电阻 R 比单级小很多，一般约为单级的 1/7～1/10，所以发电机的最高使用转速，在第一对触点工作时就要比单级低得多。但是当发电机的转速不断提高时，调节器线圈 3 中电流

跟着增大，电磁吸力增强，衔铁被进一步吸向铁芯一边，第二对触点开始工作。从线路图中可以看出，当第二对触点闭合瞬间，发电机的激磁绕组被短路，激磁绕组就失去电压，激磁电流很快下降，发电机的电压也就急速下降。电压下降了，调节器铁芯的电磁吸力就小于弹簧张紧力，第二对触点即打开。激磁绕组又重新获得电压，激磁电流又上升，电压再增高，第二对触点再闭合。触点就以某一频率周期地闭合和打开，使发电机输出电压保持在规定值。由于第二对触点闭合时，发电机的磁场靠发电机中剩磁供给，而剩磁极小，在这种情况下，调节器截止工作时的发电机转速就很高，发电机的使用转速比装用单级电磁振动式调节器高很多。

由于双级电磁振动式调节器中的附加电阻设计得比较小，触点断开时的火花也相应很小，因此可以提高通过触点的电流，即可以提高发电机的激磁电流。发电机的激磁电流提高了，发电机的体积就能缩小。为提高触点所能承受的电流，触点的材料不再全用钨。触点 9 用钨而触点10则用银。钨触点的优点前面已经讲过，它的缺点是在空气中表面易氧化，此氧化膜不导电，需要把它擦净后，调节器才能正常工作。双级电磁振动式调节器第一对触点采用一只钨一只银，使钨触点一边为正电位，银触点一边为负电位。银的电子粒，受钨边正电位的作用，转移到钨触点表面，使其表面层金属比单纯钨触点表面易于导电，因此克服了纯钨触点的缺点。在粉末冶金钨片触点的制造中，钨粉中加入银粉，这样压制出来的触点，也可以克服纯钨触点的这种缺陷。第二对触点工作时，在它断开前，激磁绕组是被触点短路的，经历了一定的放电时间，此时磁场没有多的能量储存，因此第二对触点在开断过程中有可能完全避免电弧的发生。由于这个缘故，一般第二对触点材料采用银或银合金制成。银触点的接

触电阻小，性能稳定，可以改善调节器的工作质量。

调节器触点从第一对过渡到第二对工作，由于衔铁等可动部分的机械运动，不可避免地会受到惯性和摩擦阻力，克服这些阻力就需要一定的功率，调节器在这时会出现失灵（失控），从而引起电压有一个变化。调节器设计及装配调整得好，可使电压变化在规定指标内。从第一对触点过渡到第二对触点工作，对于12伏，允许变化0.5伏，对于24伏，允许变化1伏。第一对过渡到第二对，电压上升如图76曲线

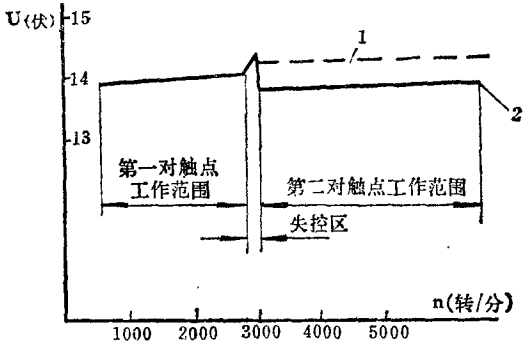


图76　第一对触点过渡到第二对触点时电压的变化

1所示，此时即电磁吸力小于弹簧张紧力。可以适当地减小衔铁与铁芯间工作气隙以提高电磁吸力。这样，触点工作变化时电压要降低些，如图76曲线2所示。

调节器第二对触点间隙很小，一般为0.25～0.35毫米。调节器工作时间过长，触点往往有电蚀现象。这时就需要维修，保持触点的正常间隙，使调节器工作正常。

双级电磁振动式调节器的第一对触点是在发电机转速较低或发电机的负荷较大时工作，如城市公共汽车；第二对触点是在发电机转速较高并负荷较小时工作，如一般载重汽车、长途汽车等。

双级电磁振动式调节器除了具有比单级电磁振动式调节器的触点使用寿命长、发电机使用转速范围广等优点外，它还有一些缺点。在结构方面，双级电磁振动式调节器触点之间的间隙必须做得很小，这样才能在第一对触点过渡到第二对触点工作时使衔铁和铁芯之间的空气间隙变化不大，因而达到电压保持很小变化的目的。但触点间隙很小会引起使用时的不方便，调整困难。由于触点工作时总要有火花，触点的金属从一个触点转移到另一个触点上，所以触点之间的间隙实际情况是有可能变化的。

除此之外，在第二对触点中如果落入尘土或触点表面氧化接触不好时，这一对触点就失去工作能力。因为闭合时触点之间有接触电阻或不导通，发电机的激磁绕组将不被短路，激磁绕组仍加有电压，则发电机的电压将随发电机转速的增高而上升。为了尽可能避免这种现象，双级电磁振动式调节器盖子与底座之间的密封是很重要的。

另外，双级调节器的衔铁与铁芯之间的间隙比单级调节器小，此间隙的变动对电压调节数值的影响很大。

电磁振动式调节器的铁芯上面有一块与衔铁平行的由镍铁合金制成的旁磁路片Z，用来补偿温度对调节电压的影响。这种镍铁合金当温度高时磁阻变大，温度低时磁阻变小。当温度高时，吸力线圈的电阻增大，吸力减小，但通过旁磁路片的磁力线也减少，而通过衔铁与铁芯之间空间的磁力线却相应地增加，不需要提高吸力线圈的电压仍能吸动衔铁。相反，当温度低时，吸力线圈的电阻减小，但通过旁磁路片的磁力线增加，而通过衔铁与铁芯之间空间的磁力线却相应地减少，仍需保持原来的电压才能使衔铁吸下，故起到了温度变化时维持发电机电压在一规定值的作用。通常在温度较低的情况下，由于蓄电池电解液内阻变大，并在冬天用

电量也大些，故调节器控制的电压也要适当提高。相反，在夏天则电压可适当调低。根据有关资料介绍，在12伏系统的蓄电池上比较适宜的值是温度每升高 10°C 时，调节电压宜降低0.24伏。

电磁振动触点式调节器的致命弱点，就在于触点易于被电弧烧蚀，引起故障；同时，由于触点工作时的火花要产生对无线电干扰的电磁波，影响周围无线电接收机的正常工作。双级触点式调节器可以控制的发电机磁场电流约为3安。当磁场电流更大或必须避免对无线电干扰时则往往用晶体管调节器。随着电子工业的发展，电子技术已广泛应用到汽车电器上，上海交通电器厂、天津汽车电器厂等均已设计制造了晶体管调节器。但现阶段，因制造成本、使用知识及晶体管元件质量等因素的影响，晶体管调节器的全面推广应用，受到一些限制。随着电子工业的不断发展，晶体管调节器将会逐步取代传统的电磁触点振动式调节器。

（三）晶体管调节器的工作原理

在第二章已讲过稳压二极管及晶体三极管的一般工作原理，我们现在应用这些原理来制造晶体管调节器。

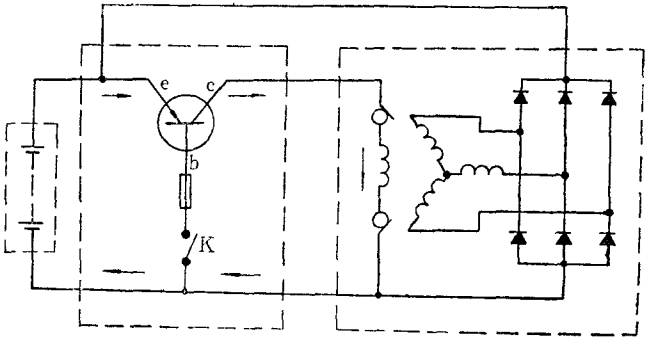


图77　晶体管调节器原理图

图77示晶体管调节器的原理。当开关K接通时，晶体三极管基极得到负电位而导通，此时蓄电池就向发电机激磁绕组供电，电流途径如图上箭头所示。如果把开关K断开，晶体三极管的基极失去了负电位，虽然蓄电池的正极仍接发射极e，负极接到集电极c，但三极管闭锁，发电机激磁绕组中的电流立即消失。我们就利用晶体三极管的这个特性，接通和断开晶体三极管的基极电流，使发电机激磁绕组中得到或失去电流，担负起电磁振动触点式调节器中的触点的作用。在图77中断开或接通晶体三极管的基极电位是靠开关K。我们设想用一个电气元件，当外加给此晶体三极管的电压高过规定值时，将晶体三极管的基极与负电位断开；当外加给此晶体三极管的电压小于规定值时，将晶体三极管的基极与负电位接通。此电气元件，目前广泛使用的是稳压管。

图78示一个在晶体三极管基极上，接有稳压管Z的简单晶体管调节器。

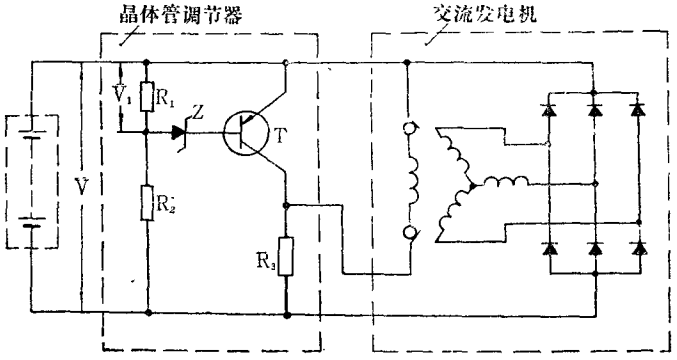


图78　具有稳压管的晶体管调节器原理图

加在晶体三极管基极电路中的稳压管上的反向电压V_1，由电阻R_1、R_2的分压而得，即：

$$V_1 = V\frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

式中：V——发电机的电压。

当发电机的电压增高时，电阻 R_1 和 R_2 上的电压也相应增加。V_1 的数值这样来规定，即当发电机的端电压达到规定值时，使 V_1 等于稳压管的工作电压；当发电机的端电压上升到要超过规定值时，稳压管便开始反向导通。此时，晶体管 T 的基极就接到负电位上。这时有基极电流流过，晶体管 T 的发射极与集电极导通，将发电机的激磁绕组短路（和双级电磁振动式调节器第二对触点工作时，将发电机的激磁绕组短路相似）。于是激磁电流即减小，发电机的电压立即下降，电阻 R_1 和 R_2 上的电压也相应减小。当电阻 R_1 上的电压小于稳压管的反向击穿电压时，稳压管闭锁，三极管的发射极与集电极也闭锁，发电机激磁绕组没有被短路，重新得到激磁电流，电压升高。如上重复地工作，晶体三极管成为一只电子开关。电路中，为使晶体管工作没有过电流（过载）。串联了一个电阻 R_3，但当电压上升时，晶体管调节器特性不好，因此，调节器中的三极管最少用二只，如图79所示。

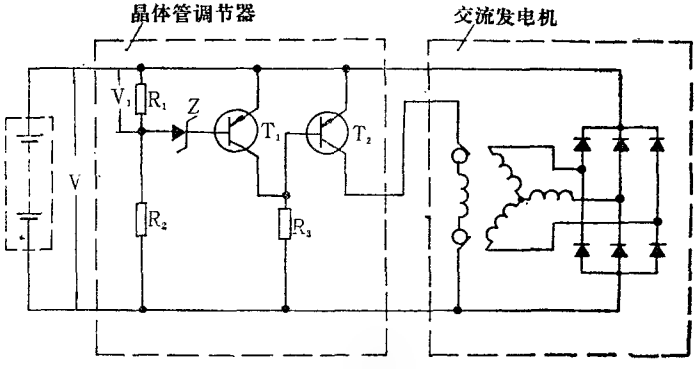


图79　实用的晶体管调节器原理图

在图79线路中，用晶体管 T_1 来控制和发电机激磁绕组串联的晶体管 T_2，以切断和接通发电机激磁电流。

晶体管 T_1 的动作原理如前所述，是由稳压管 Z 控制的。

当发电机发出的电压比调节值低时，晶体三极管 T_1 处于闭锁状态。晶体管 T_2 基极通过电阻 R_3 得到负电位，因此 T_2 发射极与集电极导通，发电机激磁绕组得到电流。

发电机转速增高，电压上升达到调节值时，稳压管 Z 导通，T_1 管基极通过 Z 、R_2 得到负电位，T_1 管即导通。因 T_1 管导通，T_2 管基极通过 T_1 管的集电极和发射极接到正电位上，因此 T_2 管立即闭锁，发电机激磁绕组失去电流，发电机发出电压开始下降。

当发电机电压下降到小于调节值后，Z 管闭锁，T_1 管也闭锁，T_2 管基极重新通过 R_3 得到负电位，T_2 管导通，发电机激磁绕组重新获得电流，电压又开始上升。由于 T_2 管导通、闭锁，控制了发电机激磁电流，使其输出电压保持在调节值。

第三节　充电信号指示装置及其继电器

汽车充电电路中，表示发电机是否向蓄电池充电有二种方法：一种是用电流表；一种是用充电指示灯。国产的汽车大部分是用电流表指示的，也有少数汽车电流表与充电指示灯同时使用。发电机向蓄电池充电时，电流表的指针指向“+”的方向，蓄电池放电时指向“-”方向。电流表是串联在蓄电池的充电电路里，它的基本电路如图80所示。国外的汽车很多是用充电信号指示灯，而不用电流表。当接通电源开关或点火开关时，由于蓄电池是放电状态，装在仪表板

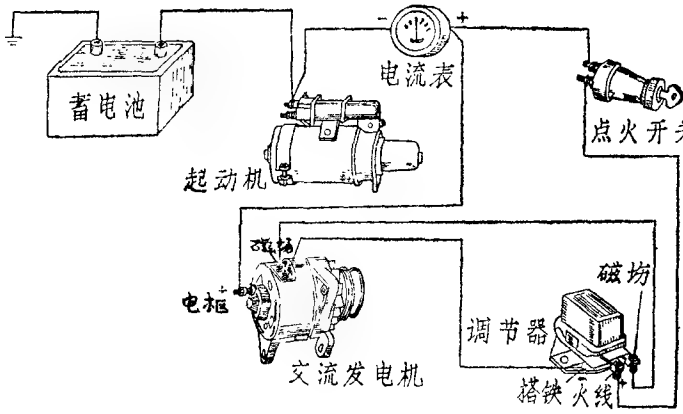


图80　充电基本电路接线图

上的指示灯就亮，当发动机在怠速以上时，发电机已开始建立了充电电压，指示灯就灭。也有少数的汽车不用电流表，而用电压表，在表盘上指示出正常的工作电压范围及不正常电压范围。

在使用交流发电机时，要接充电信号指示灯，除第一章图36所示用9管交流发电机以外，一般需另外增加一个继电器，这个继电器通常是与发电机的电压调节器组装在一个底

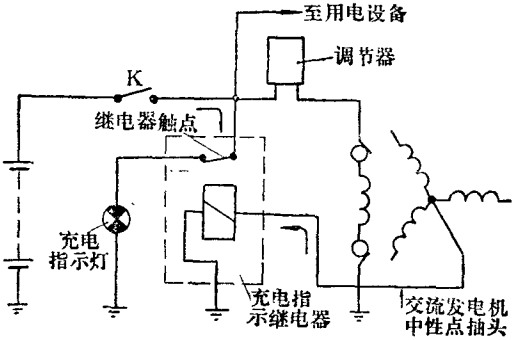


图81　充电信号指示灯接线法

座内。现把几种常见的充电信号指示灯接线方法介绍如下。

图81是一充电指示信号灯继电器，当点火开关K接通，发动机未发动时蓄电池的电通过继电器的触点至充电指示灯泡，指示灯就亮。当发电机转动后，达到充电电压值时，从发电机三相绕组中性点引出的电源供给继电器的线圈，把触点吸下打开后，指示灯就灭。当充电系统的发电机或调节器有故障时，由于中性点失去电压或达不到规定的电压时，继电器线圈失去吸力，指示灯又亮。

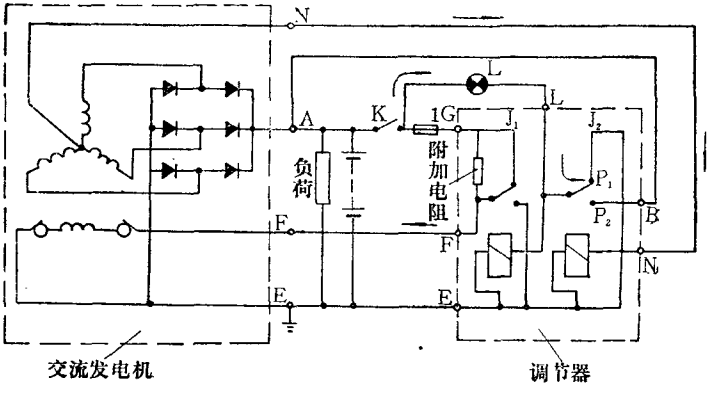


图82　充电信号指示灯接线法

图82的充电信号指示灯继电器与电压调节器线路连接在一起，两者组装在同一底座内。当发动机起动前，接通电源开关K时，蓄电池的电通过指示灯泡L至继电器J_2控制的触点P_1后搭铁成回路，指示灯就亮。但电压调节器线圈J_1没有电流。当发动机发动后，发电机的电压达到充电电压后，从定子绕组中性点来的电流至继电器J_2的吸力线圈，把衔铁吸下，使第二对触点P_2闭合。这时，指示灯二端的电压相等，灯泡内没有电流流过，灯就灭。同时，电压调节器线圈J_1有电流流过，使电压调节器开始工作。电压调节器是一双

级电磁振动式的结构，与前面讲过的双级电磁振动式调节器的工作原理相同，这里不再重述。当发电机不发电时，由于中性点也没有电压，继电器线圈 J_2 没有吸力，P_1 又闭合，指示灯又亮。这种调节器的线路在日本很多种汽车上普遍采用。

图83也是日本汽车上常见的一种接线法。调节器内右边

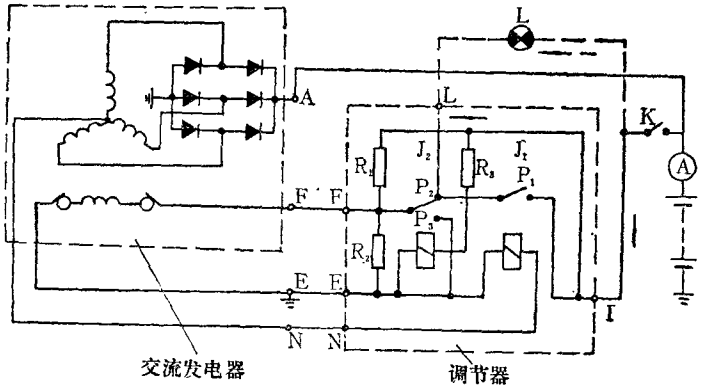


图83　充电信号指示灯接线法

的 J_1 是磁场继电器。有的汽车上装有充电信号指示灯 L，有的汽车上未装。当电源开关 K 接通后，蓄电池的电通过接线柱 I 到电阻 R_1 至接线柱 F 后到发电机激磁绕组，另一条电路从充电指示灯经接线柱 L 经触点 P_2 后到发电机激磁绕组，给发电机激磁。发电机运转至一定转速后，从定子绕组中性点得到的电源供给磁场继电器绕组，至磁场继电器吸力达到规定值后，触点 P_1 闭合，这时发电机的激磁绕组就从电源直接得到全电压，充电信号指示灯两端的电压相等，灯就熄灭。J_2 是发电机的电压调节器。当发电机的电压达到充电电压时，P_2 一对触点开始动作，当发电机转速再继续提高时，则 P_3 一对触点工作在闭合的瞬间，把发电机的激磁绕组短

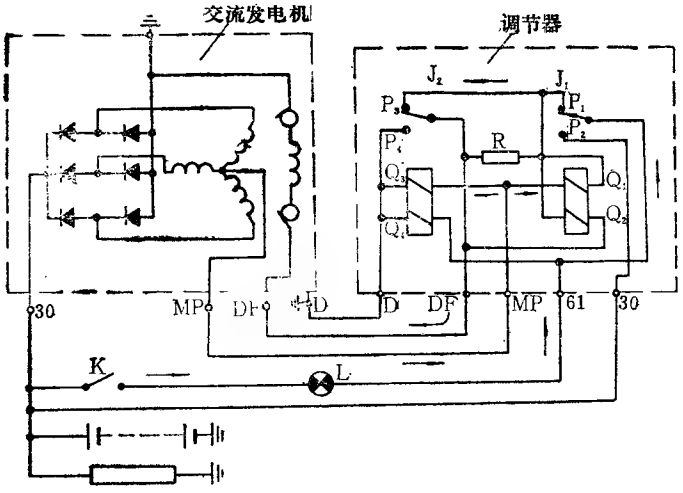


图84　充电装置线路图

K-开关；R-电阻；L-充电信号指示灯；J_1-充电信号指示灯继电器；J_2-电压调节器；P_1、P_2、P_3、P_4-触点；Q_1、Q_2、Q_3、Q_4-绕组；30、61、MP、DF、D-接线柱

路，其原理同第2节所述。

图84是东德生产的汽车上已普遍采用的一种充电装置线路图。J_1是充电信号指示灯继电器。发动机起动前，接通开关K，蓄电池的电就通过充电信号指示灯L至调节器接线柱61，通过继电器J_1的第一对触点P_1至电压调节器J_2的第一对触点P_3经接线柱DF至发电机激磁绕组，如图中箭头所示，充电指示灯亮。同时，给发电机磁场绕组激磁。电压调节器J_2的绕组Q_4也有一部分电流通过。发动机发动后，当发电机达到充电电压时，从发电机定子绕组中性点接线柱MP来的电流经调节器接线柱MP—继电器J_1的绕组Q_1—电压调节器J_2的触点P_3—接线柱DF至发电机激磁绕组。同时，从MP来的电源也通到电压调节器J_2的绕组Q_3。继电器J_1的Q_1绕组产生足够的吸力把触点吸下，与触点P_2闭

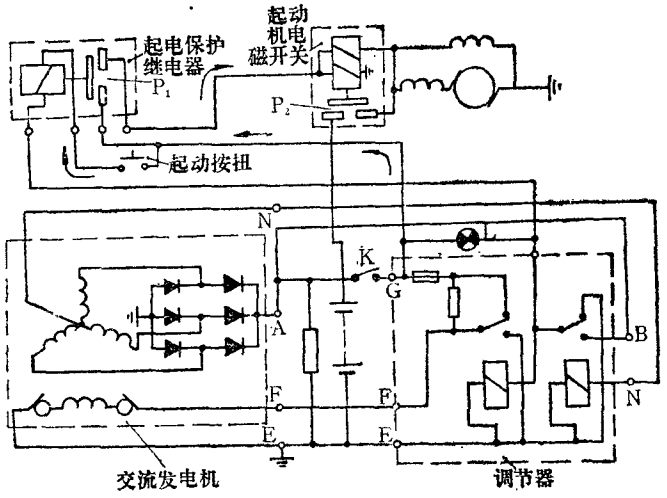


图85　利用充电指示继电器连接起动机保护继电器的线路图
K-开关，L-充电信号指示灯，P_1、P_2-触点；A、B、E、F、G、N-接线柱

合，于是充电指示灯两端的电压相等，灯就灭。Q_2是补偿绕组，使J_2工作稳定。当J_1的动触点与P_2闭合后，J_2的绕组Q_4得到全电压，使J_2的电磁吸力增加。当达到规定的调节电压时，J_2的动触点被吸动工作，当触点P_3离开的瞬间，激磁绕组就串入附加电阻R，当发电机转速再升高时，则由于J_2动触点与P_4闭合，激磁绕组被短路，调节电压原理与双级电磁振动式电压调节器原理相同。这种充电装置的特点是发电机的激磁绕组电流当自激时是靠中性点的电源供给，激磁电压为发电机发出电压的一半。因此，发电机的激磁绕组的电阻值设计得很小，仅约1.5欧姆。

各种车型充电装置的线路有很多种，但是他们的接线原理基本都相同。国外有的汽车还利用充电指示灯继电器装有起动保护装置，如图85。起动保护继电器吸力线圈与充电指

示灯并联。当起动时，接通电源开关K，按下起动按钮，起动保护继电器的线圈与充电指示灯一样加上了蓄电池的电压，起动保护继电器的线圈就有电流，使触点P_1闭合，电流就通到起动机电磁开关线圈，如图中箭头所示。起动机电磁开关的主触点P_2就闭合，蓄电池就以大电流通到起动机，起动机就运转，起动发动机。起动后，发动机运转到一定转速时，如果起动按钮仍未断开的话，则在充电指示灯熄灭的同时，起动保护继电器两端的电压与充电指示信号灯两端的电压相等，处于同电位，起动保护继电器的吸力线圈无电流流过，触点P_1断开复位。起动机电磁开关也即自动断开电源，触点P_2断开复位，起动机就切断了电源而停止运转。发动机在运转过程中，如果操作者误操作，虽把起动开关的按钮又重新按下，由于起动保护继电器的吸力线圈两端仍处于同电位，触点P_1不会闭合，起动机的电源也就不会接通，起到了保护起动机的作用。

第四节　国产交流发电机调节器的性能与结构

（一）FT61型调节器

FT61型调节器系双级触点式（图86、87），由长沙汽车电器厂生产。当发电机发出的电压高于调节值后，调节器第一级触点打开，8.5欧姆的电阻R_1就接入发电机激磁回路中，使激磁电流减小，从而发电机电压下降。助振电阻R_2也称加速电阻。当调节器的衔铁吸向铁芯，触点打开后，它加速调节器衔铁恢复正常位置，即起加速触点闭合的作用。当调节器触点打开或闭合时，发电机电压下降或升高变化比

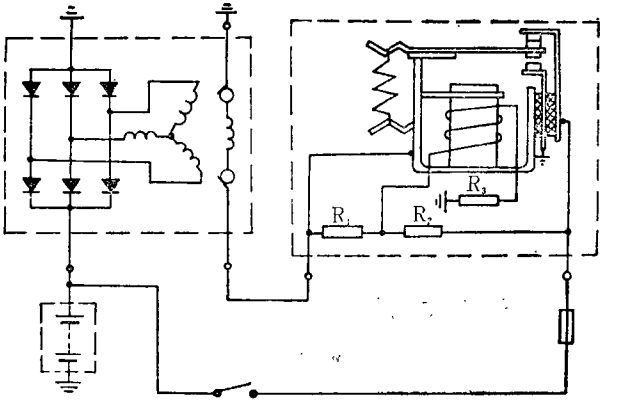


图86　FT61型调节器线路原理图

R_1-附加电阻（8.5欧姆），R_2-助振电阻（1欧姆），R_3-温度补偿电阻（13欧姆）

较快，所以要求调节器具有很高的灵敏度。提高灵敏度取决于两个因素：一个是调节器运动衔铁的机械惯性，这就要求减轻衔铁的重量和合理设计结构；另一个是调节器的磁惯性。调节器线圈内的电流和铁芯内的磁通，不随发电机电压变化而立即变化，而是稍落后于电压变化一定的时间。这种现象之所以发生，是因为当调节器铁芯磁通发生变化时，在调节器线圈内感应有电动势，其作用就是要阻止磁通的变化。因此，为了减小调节器的机械惯性与磁惯性，加了助振电阻。在触点没有打开时，发电机激磁电流不通过1欧姆助振电阻，1欧

图87　FT61型调节器外观图

姆助振电阻中的电流只有流过调节器线圈的电流。当调节器触点打开后，激磁电流通过1欧姆助振电阻和8.5欧姆附加电阻。由于磁场电流比流过线圈的电流大，因此，流过1欧姆助振电阻中的电流急剧增大，它是激磁电流与线圈电流之和，所以这个电阻上的电压降就大。1欧姆助振电阻上的电压降大了，在发电机的电压尚未改变的情况下，线圈上得到的电压就减小，因此线圈中电流以及电磁吸力迅速减小，衔铁很快回位，加速了触点的闭合。

调节器线圈是由铜线绕制的，在温度升高时，电阻值相应要增加，线圈电流以及电磁吸力减小，调节器电压会上升。设计时应使线圈的电阻值符合要求，使导线的电流密度不超过规定，保持线圈温升在一定范围内。把线圈和13欧姆电阻 R_3 串联，可以减小铜线电阻。电阻 R_3 是用镍铬合金线绕制的。镍铬合金线的电阻基本上不随温度变化。如果线圈不与它串联应用，那么线圈的电阻要设计得大些，受温度的影响也就要变大，调节电压会由于线圈电阻增大而上升。因此它对线圈电阻所受温度的影响起了补偿作用。

FT61型调节器的性能和结构参看表11和12。

FT61型调节器的性能参数 表11

配合工作发电机型号	JF13系列，14伏、25安、350瓦 JF11系列，14伏、25安、350瓦
发电机转速为3000转/分，输出为4安培时的调节电压值	13.2～14.2伏
调节器在+70±2℃环境中，发电机转速为3000转/分，输出为12.5安培连续工作2小时，调节电压值允许变化不大于	1伏
当输出为12.5安培，发电机转速在1800～7000转/分变化时，调节电压值允许变化不大于	0.5伏
当发电机转速为3500转/分，输出在0～23安培变化时，调节电压值允许变化不大于	0.5伏

FT61型调节器的结构参数 **表12**

零件名称	数据
线圈	ϕ0.31,820匝，R_{20}=9.5欧姆
附加电阻（8.5欧姆）	ϕ0.3Cr15Ni60
助振电阻（1欧姆）	ϕ0.5Cr15Ni60
补偿电阻（13欧姆）	ϕ0.2Cr15Ni60
衔铁与铁芯间隙	1.28～1.32毫米
铰链	T8A-P-BG-Q-T，0.2YB208-63，新HRC42～47
第二对触点间隙	0.25～0.30毫米
衔铁	DT1E，δ1.2
铁芯	DT1，$\phi 8.7^{+0.1}$
磁分路片	1J31
磁轭	DT1E，δ2.5

ET61型调节器的转速特性及负荷特性见图88甲和乙。

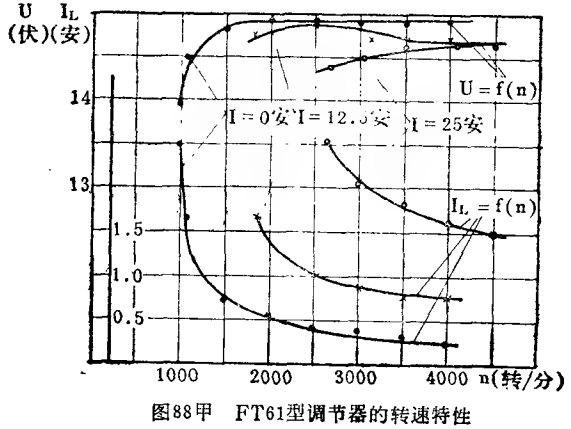


图88甲 FT61型调节器的转速特性

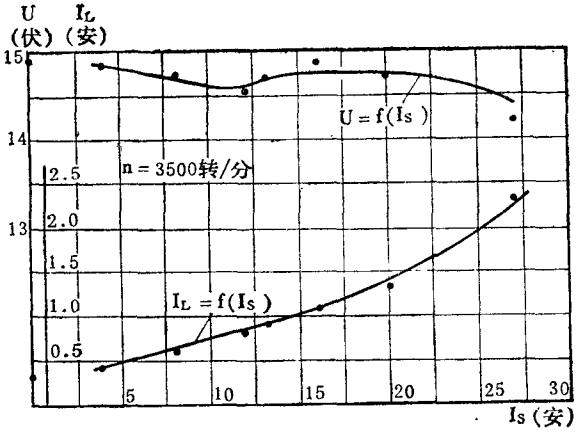


图88乙　FT61型调节器的负荷特性

（二）FT70型调节器

FT70型调节器由上海交通电器厂生产，是双级触点式，它的结构型式（图89、90）与FT61型不同。它的中间触点

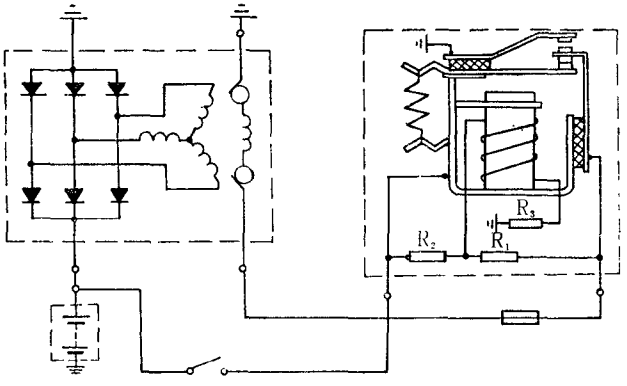


图89　FT70型调节器线路原理图

R_1-附加电阻（9欧姆）；R_2-助振电阻（0.4欧姆）；R_3-温度补偿电阻（20欧姆）

是固定不动的，上触点和下触点固定在衔铁上振。附加电阻 R_1 为 9 欧姆，助振电阻 R_2 为0.4欧姆，温度补偿电阻为20欧姆。其性能和结构参数见表13和14。

FT70 型调节器的转速及负荷特性见图91甲和乙。

FT70 型调节器性能参数 表13

配合工作发电机型号	JF11系列，14伏、25安、350瓦 JF21系列，JF01系列
发电机转速为3000转/分，输出为 4 安培时的调节电压值	13.8～14.5伏
在发电机转速为3000转/分时，输出由 4 安培变为15安培，调节电压允许下降	0～0.5伏
调节器在 +70℃烘箱中不工作放置 3 小时后，调节电压值	13.7～14.7伏

FT70型调节器的结构参数 表14

零件名称	数据
线圈	ϕ0.29，700匝，R_{20}=7.2欧姆
衔铁与铁芯间气隙	1.2～1.3毫米
触点工作间隙	0.3～0.4毫米
补偿电阻（20欧姆）	Cr20Ni80，ϕ0.2
附加电阻（9欧姆）	Cr20Ni80，ϕ0.3
助振电阻（0.4欧姆）	ϕ0.5康铜线
磁轭	DT1E，δ2.5
铁芯	DT1，ϕ7.8
衔铁	DT1E，δ1.2
磁分路片	1J33

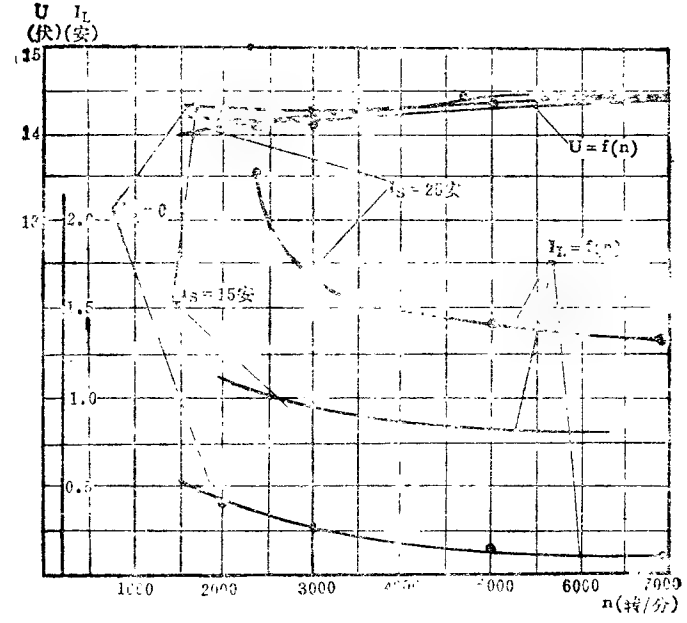


图91甲　FT70型调节器转速特性

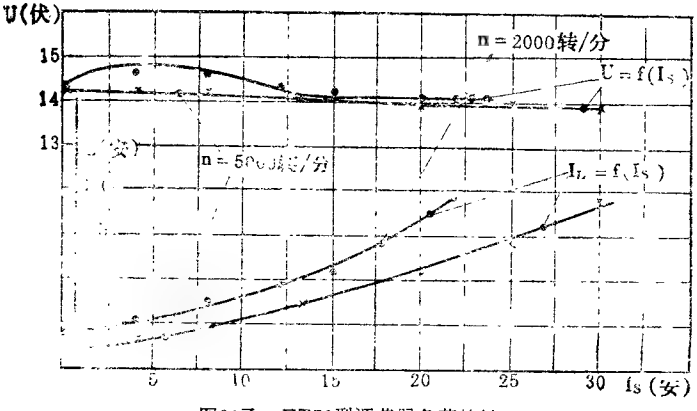


图91乙　FT70型调节器负荷特性

（三）FT70A型调节器

FT70A型调节器由上海交通电器厂生产，它的结构型式与FT70型相同（参看图89），但电阻的参数不同，附加电阻为40欧姆，助振电阻为2欧姆，温度补偿电阻为80欧姆。其性能及结构参数见表15及16。

FT70A型调节器性能参数 表15

配合工作发电机型号	JF12，JF22
发电机转速为3000转/分，输出为2安培时的调节电压	27.6～29伏
发电机转速为3000转/分，低载时调节电压与半载时调节电压差值不大于	1伏

FT70A型调节器结构参数 表16

零件名称	数据
线圈	ϕ0.21，1540匝，R_{20}=30欧姆
补偿电阻（80欧姆）	Cr20Ni80，ϕ0.1
附加电阻（40欧姆）	Cr20Ni80，ϕ0.2
助振电阻（2欧姆）	Cr20Ni80，ϕ0.3

注：其他用料与FT70型相同。

（四）FT61A型调节器

FT61A型调节器有两组继电器。一组是电压调节器，与FT70A型双级触点式电压调节器结构相同。另一组是一截流器，它的用途是防止蓄电池的电向发电机激磁绕组倒流，所以也称防倒流继电器。这种调节器目前广泛用于柴油发动机的汽车上以及固定式柴油发动机上。其连接线路如图92所示。

当发动机起动时，接通电源开关K，并按下起动按钮

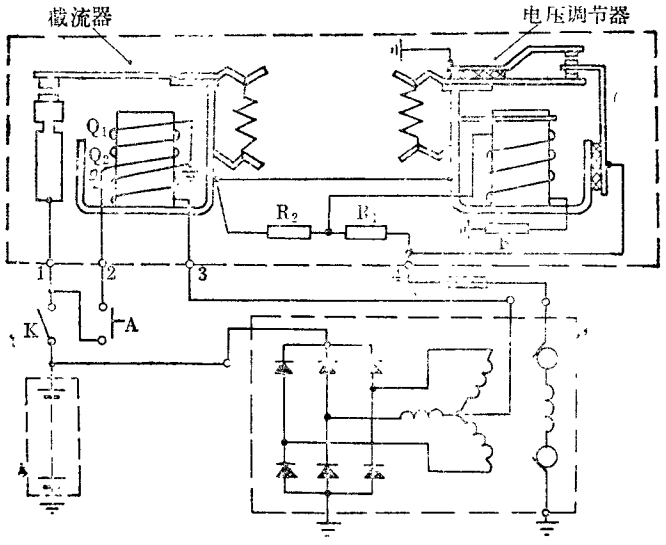


图92 FT61A 型调节器线路原理图

K-电源开关；A-起动按钮；Q_1-起动线圈；Q_2-维持线圈；R-附加电阻（40欧姆）；R_2-助振电阻（2欧姆）；R_1-温度补偿电阻（80欧姆）；1、2、3、4-接线柱

A，蓄电池的电通过接线柱2（起动）至截流继电器的起动线圈Q_1时，它产生的电磁吸力使触点闭合，蓄电池的电就从接线柱1（电枢）通过触点至电压调节器的常闭触点后到发电机激磁绕组。当发动机起动后，发电机的电压开始上升，发电机中性点引出的电源通过接线柱3（中性点）至截流器维持线圈Q_2，Q_1与Q_2产生的磁化力方向是一致的。当发动机起动后，放开起动按钮A，起动线圈Q_1已没有电流通过，维持线圈Q_2仍使触点闭合。发电机的激磁绕组回路仍正常工作。当发动机停止运转时，发电机的中性点已没有电压，截流器的维持线圈也就没有电流，触点在弹簧作用下断开，蓄电池与发电机激磁电路断开，起到防止蓄电池的

电向发电机激磁绕组倒流的作用。

FT61A 型调节器由上海交通电器厂生产，其性能结构参数见表17和18。

FT61A 型调节器性能参数 表17

配合工作发电机型号	JF12，JF22
发电机转速为3000转/分，输出为2安培时的调节电压值	27.6～29伏
发电机转速为3000转/分，低载时调节电压与半载时调节电压差值，不大于	1 伏
截流继电器闭合电压	8～10伏

FT61A 型调节器结构参数 表18

节压器线圈	同FT70A型
继电器线圈	继电器线圈Q_2 第一部分用ϕ0.17，1420匝，R_{20}=35欧姆 第二部分用ϕ0.25高强度漆包康铜线，72～77匝，第一与第二部分总电阻值为65欧姆 继电器线圈Q_1 用ϕ0.17，1420匝，R_{20}=35欧姆
电阻用线	同FT70A型

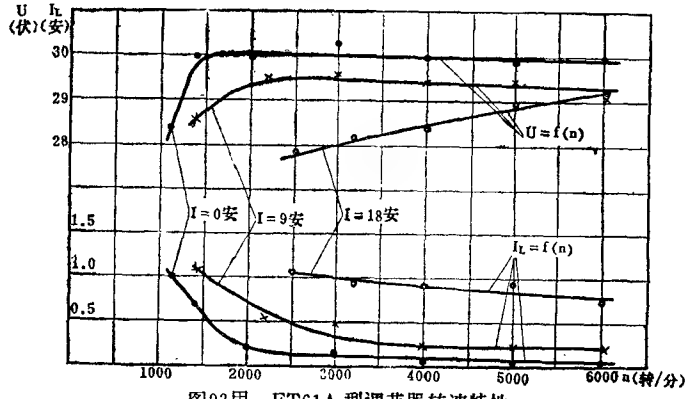


图93甲 FT61A 型调节器转速特性

FT61A 型调节器的转速特性及负荷特性见图93甲、乙。

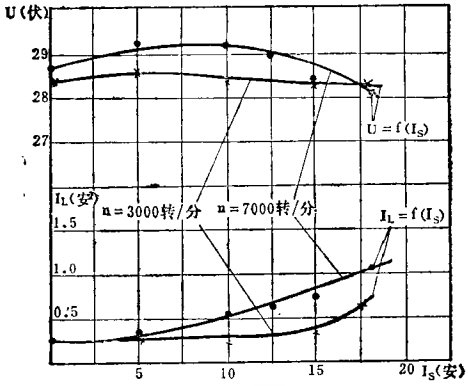


图93乙　FT61A 型调节器负荷特性

（五）JFT121、JFT241 型晶体管调节器

JFT121 和 JFT241 型晶体管调节器系天津汽车电器厂生产。图94是实物图。图95是电路图。它的工作原理介绍如下：

图94　JFT121型晶体管调节器
甲-外形，乙-内部

R_1、R_2 是分压电阻。合上开关 K，当发电机的转速较

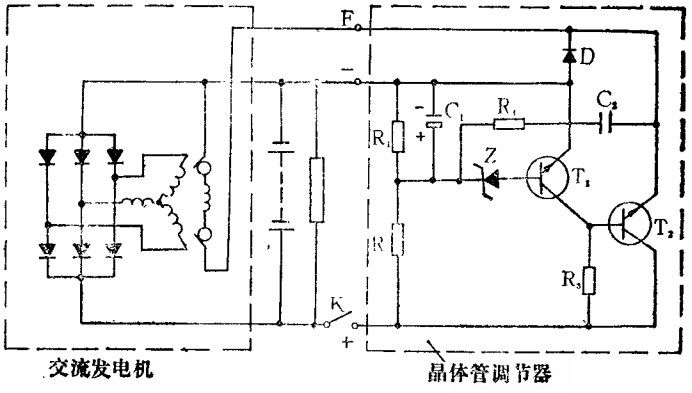


图95 JFT121、JFT241 型晶体管调节器电路图

K-开关；F、+、－-接线柱；R_1、R_2、R_3、R_4-电阻；C_1-电解电容器；C_2-电容器；D-二极管；Z-稳压管；T_1、T_2-三极管

低时，发电机的电压也较低，稳压管 Z 所承受的电压小于击穿电压，Z 是截止的，T_1 无基极电流，处于截止状态。T_2 在 R_3 的偏置作用下，有基极电流流过，集电极与发射极导通，发电机激磁绕组有电流流过，电压逐渐上升。当发电机的电压随转速的升高再继续升高时，稳压管 Z 承受的端电压达到击穿电压时，Z 就导通，T_1 有基极电流流过也就导通。T_1 导通后，T_2 的基极电位变负，于是被截止，T_2 的发射极与集电极无电流流过，发电机的激磁电流被切断，端电压就下降。当发电机端电压下降到低于稳压管 Z 所承受的击穿电压时，Z 又锁闭，而 T_2 又重新导通，发电机激磁绕组又有电流流过，发电机端电压又上升。如此循环不断，使发电机的端电压保持在一规定的数值。

电容器 C_1 用以降低三极管开闭的频率，减少稳压管 Z 的发热机会。二极管 D 是消除激磁绕组中的自感电势，保护三极管 T_2 免被击穿。分压电阻 R_1、R_2 在出厂前已调整好。

晶体管调节器的底座是采用聚碳酸脂做的，端盖是有散热筋的铝合金压铸件，两个 N-P-N 型低频大功率三极管 T_1 和 T_2 装在铝合金盖内，使大功率三极管有良好的散热。印刷电路板通过大功率三极管和铝合金盖固定在一起。调节器的引出线采用接线板的结构，盖上标有对应的接线符号，分别为“负极”、“正极”和“磁场”。

表19是电路图中各元件的规格参数。

JFT121、JFT241型晶体管调节器元件参数　　表19

符　号	JFT121型元件型号规格	数量	JFT241型元件型号规格	数量
R_1	RJ型金属膜电阻，1瓦、100～200欧	1	RJ型金属膜电阻，1瓦、100～200欧	1
R_2	RJ型金属膜电阻，1瓦、100欧	1	RJ型金属膜电阻，2瓦、300欧	1
R_3	RJ型金属膜电阻，2瓦、150欧 或RXY型被釉线绕电阻器，8瓦、75欧	2只并联 1	RJ型金属膜电阻，2瓦、300欧 或RXY型被釉线绕电阻器，8瓦、150欧	2只并联 1
R_4	RJ型金属膜电阻，1瓦、56欧	1	同 JFT121 型	1
C_1	电解电容器，CDX-1、3微法、25伏	1	同 JFT121 型	1
C_2	电容器，CZJ1、0.033微法、25伏	1	同 JFT121 型	1
Z	稳压管，2CW15	1	同 JFT121 型	1
T_1	低频大功率三极管，3DD3C 或高频小功率三极管，3DG12B	1	同 JFT121 型	1
T_2	低频大功率三极管，3DD3C	1	同 JFT121 型	1
D	整流二极管，2CZ11A	1	同 JFT121 型	1

表20和21是性能参数。

JFT121型晶体管调节器性能参数 表20

配合工作发电机型号	JF11、JF13系列，14伏，25安
发电机转速3000转/分，输出12.5安时调节电压	13.8～14.8伏
输出为12.5安，发电机转速在1800～5000转/分时，调节电压变化不大于	1 伏
调节器在+70℃环境中，发电机转速为3000转/分，输出为12.5安，连续工作1.5小时，调节电压变化不大于	1 伏
当发电机转速为3000转/分，输出电流在0～22安变化时，调节电压变化不大于	1 伏

JFT241型晶体管调节器性能参数 表21

配合工作发电机型号	JF23系列，28伏，12.5安
发电机转速为3000转/分，输出为6.5安时的调节电压	27.5～29.5伏
当发电机转速在1800～5000转/分变化时，输出为6.5安时，调节电压变化不大于	1 伏
调节器在+70℃环境中，发电机转速为3000转/分，输出为6.5安，连续工作1.5小时，调节电压变化不大于	1.5 伏
当发电机转速为3000转/分，输出为0～13安变化时，调节电压变化不大于	2 伏

图96甲、乙分别表示JFT121型晶体管调节器的转速特性和负荷特性。

图97甲、乙分别表示JFT241型晶体管调节器的转速特性和负荷特性。

从图95的电路图可看出，发电机的激磁回路是内搭铁的，T_2管的电压降较大，致使激磁电流减小，影响发电机功率的输出。使用N-P-N型硅管作晶体调节器，应该把发

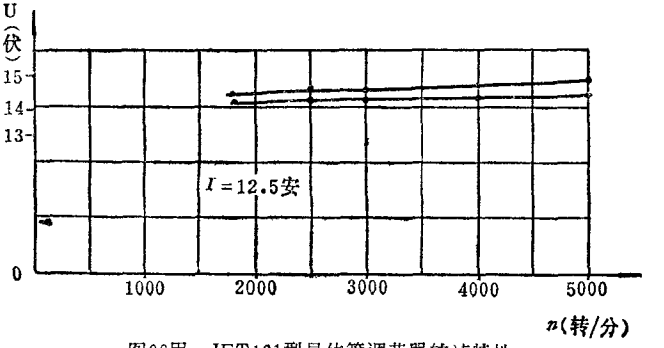


图96甲　JFT121型晶体管调节器转速特性

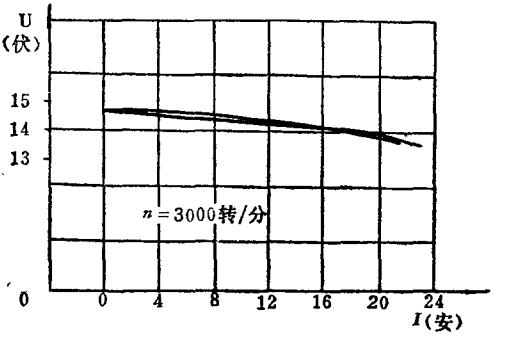


图96乙　JFT121型晶体管调节器负荷特性

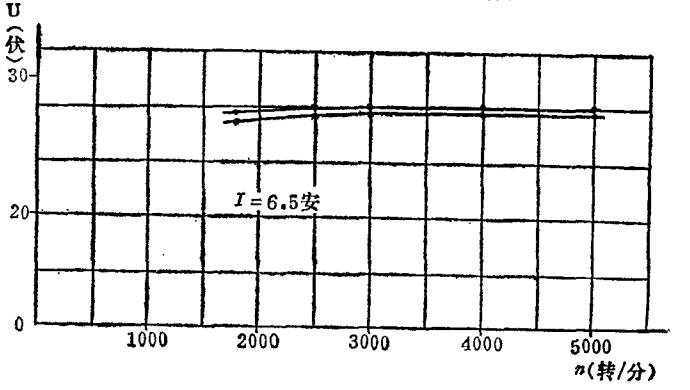


图97甲　JFT241型晶体管调节器转速特性

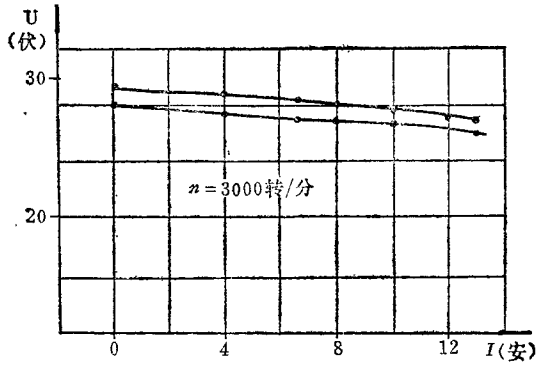


图97乙　JFT241型晶体管调节器负荷特性

电机的激磁绕组改成外搭铁，就是磁场两端都与发电机外壳绝缘。当接通电源开关后，蓄电池电源的正极先经发电机激磁绕组，通过大功率三极管的集电极及发射极后再搭铁成回路，这样发电机的激磁电流可以提高，发电机可以发挥它原有的输出功率特性。如果是内搭铁，则要牺牲发电机一部分功率。

正确地使用晶体管调节器是很重要的。特别是接线板上的极性不能接错，否则将损坏晶体管，调节器的正极需经过点火开关与发电机的正极相接，接线应牢固。现把JFT121和JFT241型晶体管调节器产生故障的一般现象及检查方法介绍如下：

一般的故障有两种现象：一是控制不住，调节电压过高，充电电流总是指向较大值；一是没有充电电流，发电机没有激磁电流，所以，发电机电压建立不起来。若出现这两种现象，可把调节器从车上取下，用万用表测量调节器的三个接线柱，正常情况的数据如下：

1.把万用表的电阻档放在$R\times10$档。正反向测量正负

极接线柱，如图98所示。这时万用表测试棒电流只能流经R_1R_2，其他元件呈现大阻值。其电阻值R相当于R_1+R_2，JFT121型R=200～300欧姆，JFT241型R=400～500欧姆。

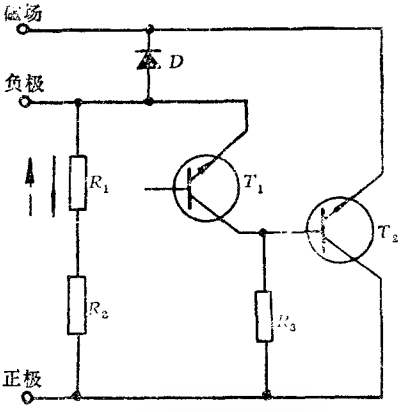


图98　晶体管调节器故障检查（测试正负极接线柱）

2.把万用表的电阻档仍放在$R\times10$档，正反向测量正极和磁场接线柱，如图99所示。正向测得电阻值比较大，相当于T_2的发射极到集电极反向电阻，一般是50千欧以上。反向测得的电阻值，相当于$R_1+R_2+r_D$和$R_3+r_{b\cdot e}$并联的电阻。对JFT121型$R\approx$90欧姆，对JFT241型$R\approx$110欧姆。

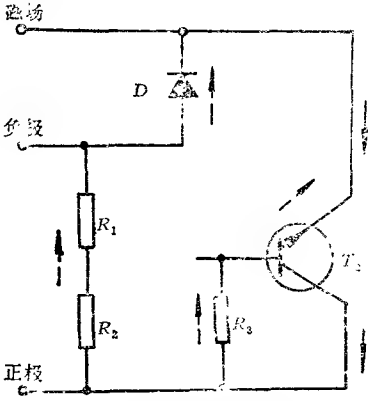


图99　晶体管调节器故障检查（测试正极和磁场接线柱）

如果正反向测得的电阻值都很大，则可能是由于R_3接触不良，或T_2基极与发射极已断开。这样，发电机就没有充电电流。

如果正反向测得的电阻值都等于零，则可能T_2的发射极和集电极已击穿短路，需更换T_2。

3.把万用表的电阻档仍放在$R\times10$档，正反向测量负极和磁场接线柱，如图100所示。正向测得电阻值较大，一般为大于50千欧。反向测得电阻，相当于二极管D的正向电阻r_D和$R_1+R_2+R_3+r_{be}$的并联电阻值，对JFT121和JFT241两种规格的调节器$R\approx110$欧姆。

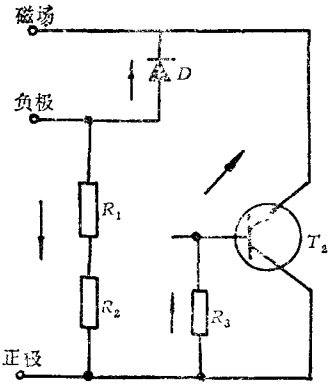


图100 晶体管调节器故障检查（测试负极和磁场接线柱）

上述介绍的是常见的故障。若是其他的故障现象，也可通过万用表顺着电路找出故障所在。

若发现调节器上的管子或其他元件损坏，需用电烙铁把损坏的管子或元件取下，换上相应同规格的元件。把R_1取下，用一个电阻值为0～200欧姆范围的电位器焊在R_1对应的电路中，在试验台上按规定的测试条件（表20、21第一栏的规定），用调整电位器的电阻值来调整电压。然后取下电位器，用电桥或万用表测量电位器代替R_1的电阻值，选一个相当电阻值的电阻配上即可。如果接线正确，调节电位器时电压仍不变，则应另检查其故障原因。

第四章　汽车交流发电机的使用和保养

第一节　汽车交流发电机的使用

（一）汽车交流发电机的安装

汽车交流发电机的安装位置与直流发电机相同，一般安装在发动机前部的右侧或左侧。由于交流发电机比直流发电机短得多，所以，它在发动机上的安装支架与直流发电机不同，安装方式一般有以下几种，如图101所示。

汽车交流发电机的固定方式，一般分为单挂脚（图101甲、乙）、双挂脚（图101丙）及无挂脚（也称抱持式）三

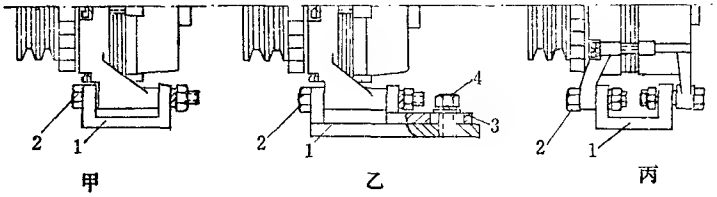


图101　交流发电机的安装方式
1-发电机支架；2、4-紧固螺栓；3-调整支架

种。发电机支架一般用钢板冲压成形或铸铁加工。图101甲所示的单挂脚，发电机安装在支架中间，用一长螺栓紧固支架的两端。这种支架结构比较简单，安装也方便。它的缺点是发电机挂脚在其支架中间可能有间隙；发电机挂脚长度本

身在制造上有公差，支架两端的跨距也有公差，在成批生产中有的发电机在安装后有间隙是不可避免的。这个间隙的存在会使发电机工作时歪斜，引起发电机挂脚孔及皮带的磨损加剧，所以，如果有间隙时最好用垫片调整。

图 101 乙所示的发电机支架形式可以避免上述结构的缺点。调整支架 3 有一长孔，先将调整支架固定在支架 1 上，螺栓不拧紧，在把发电机放到支架上后，使调整支架与发电机挂脚的平面靠住，再将螺栓 2 及 4 拧紧。这种支架的装配稍麻烦一些，但不会出现发电机挂脚与支架之间的间隙，使发电机工作时不致歪斜。

图 101 丙所示是双挂脚发电机的固定方式，这种发电机的固定方式与直流发电机是一样的。

抱持式发电机是将发电机放在支架上后，用两条钢带或其他形式的结构将发电机包住在支架上。

在将发电机安装于其支架上后，借发电机的调整臂将发电机的驱动皮带张力调整至适当的程度。皮带不能张得太紧，也不能太松；如太紧会使发电机端盖及轴承容易损坏，太松会使发电机运转时皮带打滑，影响发电机的正常工作。对单挂脚发电机来说，调整皮带张力时，力要作用在驱动端盖上，切不可作用在后端盖上，否则发电机的挂脚容易断裂。

发电机的紧固螺栓应拧得很牢固，防止螺母松动，紧固螺栓的直径必须与发电机挂脚的孔相适应，如果直径太小，会使发电机歪斜，尤其是采用图 101 甲的安装方式时，更容易发生这种情况。发电机皮带槽的中心线必须与发动机曲轴皮带轮槽的中心线对齐，如果偏斜就容易使皮带过早磨损，其偏斜度一般要求不超过 1 毫米。

（二）汽车交流发电机的接线方法

交流发电机与调节器在车上的接线方法如图 102 所示。

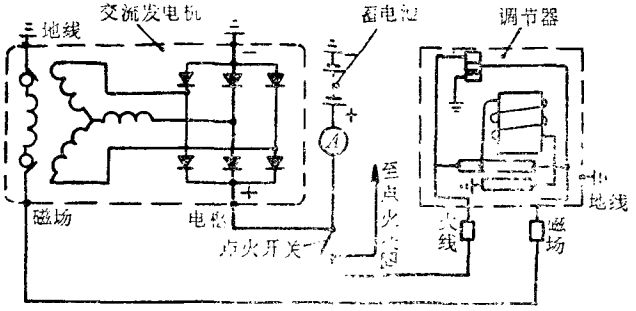


图102　交流发电机与调节器在车上的接线图

发电机在没有中性抽头的情况下，它的引出接线柱与直流发电机是一样的，即有“电枢”（有的发电机用“输出”表示，国外的交流发电机大都用“*B*”或“*D*”表示）、“磁场”、“接地”三个接线柱。目前国产的与交流发电机配套的调节器大多数是单组的电压调节器，接线方法比较简单。

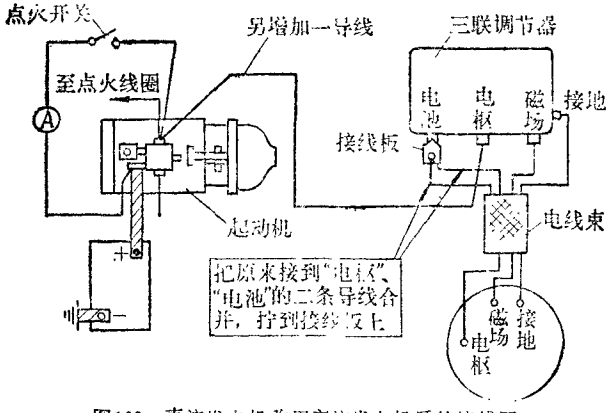


图103　直流发电机改用交流发电机后的接线图

目前解放牌汽车上仍采用老的直流发电机用的三组调节器，这主要是考虑当交流发电机一旦损坏，而一时又不能修复时，仍可使用直流发电机。图 103 表示原来是装直流发电机的，改用交流发电机后，如调节器仍使用老的“小三联”（必须在调节器的性能与发电机相匹配条件下）时的接线图。实际上只使用其中节压器一组。

把原来接直流发电机的“电枢”、“磁场”、“接地”三条导线，仍分别接到交流发电机的“电枢”、“磁场”、“接地”三个接线柱上。

原来接调节器的“磁场”及“接地”的接线柱不动。

在调节器“电池”接线柱上装一接线板（也可装在别的合适位置），此接线板与“电池”接线柱绝缘。把原来接调节器“电枢”及“电池”接线柱上的两条导线合并，拧到接线板的单独的接线柱上。这样它的外部接线方法实际上与图102是一样的，调节器的节流器与截流器不起作用。

（三）使用注意事项

1.蓄电池的接地极性必须与发电机的极性相同。根据JB515-77规定，我国汽车电系规定为负极接地，所以国产的交流发电机都是做成负极接地的，蓄电池必须也是负极接地。以前老的汽车上直流发电机大都是正极接地的，改用交流发电机后，必须将蓄电池改为负极接地。如果交流机的接地极性与蓄电池的接地极性不一致，则交流机中的二极管将立即被烧坏，并且汽车上有关的电线也会被烧坏，因为蓄电池的电通过二极管后成短路状态放电。

由原来正极接地的直流发电机改用交流发电机后，接到电流表两个接线柱导线的位置也须更换一下，否则，电流表指示的充、放电方向相反。

2.用传统的直流发电机时，习惯上往往用起子或导线将发电机的“电枢”接线柱与外壳短接一下（碰一下），看是否有火花，用这种方法来检查发电机是否发电等。装用交流发电机后，不准这样做。

不要把“电枢”接线柱与“磁场”接线柱短接，以免调节器触点被烧坏。因为把发电机的“电枢”和“磁场”短接（刮火）时，或把调节器上“火线”接线柱与“磁场”接线柱短接（刮火）时，使发电机电压立即升高，调节器的吸力线圈磁化力增加，使第二对触点闭合。在短接的瞬间，“磁场”接线柱的电压也就是发电机“电枢”的电压，这就导致发电机的输出通过第二级触点后被短路，从而使发电机至调节器的“磁场”接线柱连接导线及调节器内部通过第二级触点的连接线被烧坏，第二级触点由于超过它所承受的电流而被烧坏，使调节器失去工作能力。因此，对双级式调节器来讲，“火线”与“磁场”是不准短接的。即使是瞬时短接，也会烧坏调节器触点。为防止调节器触点的烧坏，一般从发电机至调节器的磁场接线柱之间加接一个2.5～3安培的熔断丝。

不要把“磁场”接线柱搭铁，否则也要烧坏调节器触点。因为从“火线”来的电源通过调节器第一对触点后搭铁，造成第一对触点烧坏。

3.要正确判断发电系统工作是否正常。汽车在行驶过程中，电流表指示的充电电流很小或接近于零，往往是正常现象。在发动机起动时，由于蓄电池供给起动机用电，蓄电池的电放掉一部分。当发动机起动后达到正常工作转速时，发电机就立即向蓄电池充电。充电电流的大小，视蓄电池放电程度而定。起动机连续使用次数愈多，蓄电池放掉的电就愈多，它的端电压就愈低，发电机的端电压与蓄电池的端电压

差大，充电电流也就愈大。当发动机工作一定时间后，蓄电池的电就逐渐充足，它的端电压逐渐上升，发电机的端电压与蓄电池的端电压差逐渐减小。这时，电流表指示的充电电流也就逐渐减小。当蓄电池的电充满时，发电机的端电压与蓄电池的端电压已很接近，电流表指示的充电电流很小或接近于零。所以，如果在发动机起动后一段时间内，充电电流大，而后逐渐减小，这说明充电系统是正常的。图104表示发动机起动后蓄电池端电压、充电电流随时间变化的关系曲线。采用交流发电机后，这种现象更为显著，因为交流发电机的充电速度比直流发电机快。只要电流表指针不在放电位

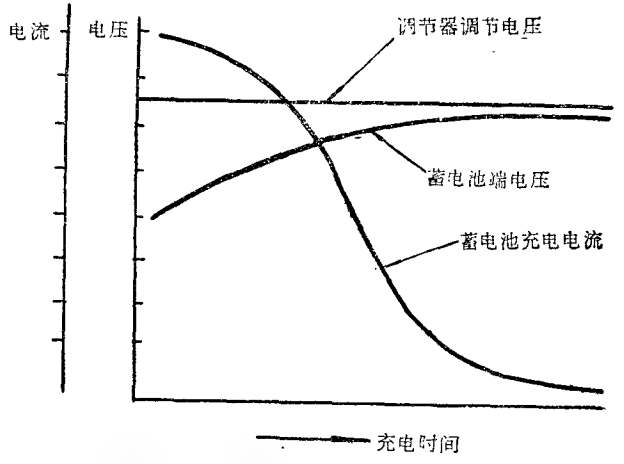


图104　发动机起动后蓄电池端电压、充电电流随时间变化的关系曲线

置就说明是正常的。切不可把调节器的电压调高，否则会使蓄电池过充电，造成蓄电池过早损坏。工作电压过高，发电机的激磁绕组及其他用电设备也容易损坏。

4.发现发电机不发电或充电电流很小时，应及时找出毛病，排除故障，不要再长期继续运转。因为发电机不发电或

充电电流很小，可能是由于二极管损坏而引起。如果在有一个二极管击穿情况下，再继续运转，会引起定子绕组一相或二相被烧坏。如图105所示，如果 D_3 被击穿而通路，则 a 相

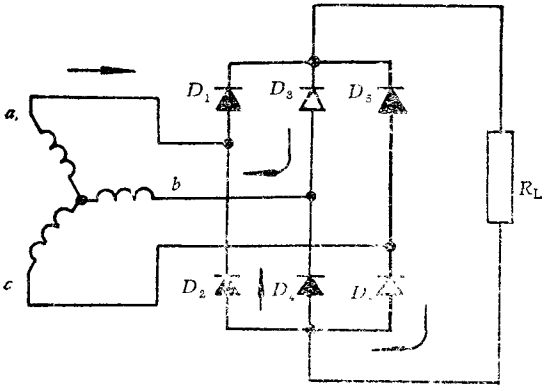


图105　交流发电机二极管损坏后的电流流通情况

绕组感应产生的电流经 D_1 后通过 D_3 回到 b 相绕组，而不经过负载 R_L。如果 D_6 被击穿，则 c 相绕组感应的电流经 D_6 后至 D_2 管到 a 相绕组。这样，运转时间长后，定子绕组就容易烧坏。

5.检查发电机各部绝缘性能时，如果使用220伏交流电或兆欧计，则必须把发电机拆开，将二极管引线与各部联接处分开。切不可让220伏交流电或兆欧计的电压作用到二极管上。

第二节　汽车交流发电机的故障及排除方法

交流发电机的使用寿命虽然比直流发电机长，但仍可能出现各种故障。因此，在使用过程中，要经常注意电流表指

示的充电情况，如发现充电不正常时，要分析原因，并及时排除故障。

试验交流发电机是否发电，可以用下述方法来检查。

1.用直流电压表测量发电机的输出电压。将电压表（或万用表测量电压的一档）的（-）试棒搭到发电机的外壳，（+）试棒搭到发电机的“电枢”接线柱上。当发动机没有转动时，电压表指示的电压就是蓄电池的电压；当发动机以中等速度运转时，如果电压表所指示的值上升到14伏（对12伏电系而言）或28伏（对24伏电系而言）左右时，说明发电机及调节器的工作是正常的。如果电压表指示仍为蓄电池的电压，则说明发电机没有向蓄电池充电，充电系统有故障。是发电机本身有故障还是由于调节器故障引起，就需进一步分析检查。

检查时先不要拆除车上各部导线，发动机以中等速度运转。把调节器盖子打开，用手指轻轻按一下调节器衔铁的尾部（调节弹簧挂钩的地方），同时观察充电电流表。如果充电电流没有增加，则一般表示毛病不在调节器，而在其他部位。如果轻轻一按衔铁尾部，充电电流立即增大，则说明调节电压太低，可以重新调整调节电压值。

调节电压时，为了安全起见，最好先把发动机熄火，把“火线”拆除后进行。如果要在车上发动机运转时调整，则需特别小心，不要使调节工具（如尖咀钳或专用工具）碰调节器的底座搭铁。调节时的情形如图106所示。

2.用灯泡检查。先将汽车上连接到发电机“电枢”接线柱的导线拆掉，使发电机的电枢与蓄电池电源脱开。然后使发动机以较低的速度运转，将灯泡的一端引线搭发电机“电枢”接线柱，另一端引线搭发电机外壳，如图107所示。如果灯泡亮，则表示发电机是正常的，如果灯泡不亮或暗红，

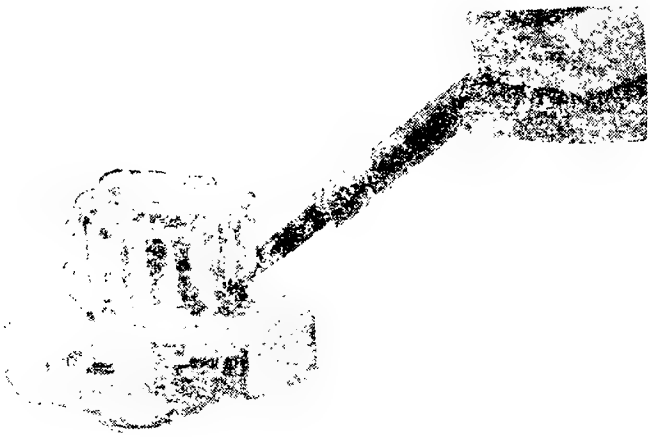


图106　调整调节器电压的情形

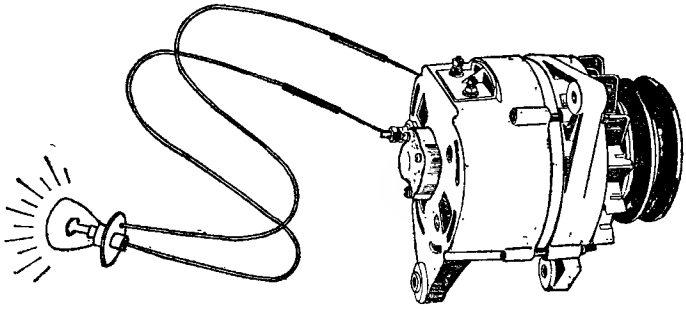


图107　用灯泡检查交流发电机

说明发电机有故障。这里要特别注意：用这种方法检查时，发动机的转速不能太高，只要比怠速稍高一点就可以。如果发动机转速太高，则发电机的电压会急剧上升。因为这时发电机处于他激状态，调节器的吸力线圈在蓄电池电压作用下不足以吸动衔铁，磁场电流也就不能调节。如果运转时间长后，就会造成发电机激磁绕组烧坏。如果试验时，发现灯泡

很暗，当转速升高时，灯泡的亮度也不明显增加，一般说明定子绕组已烧坏，必须更换新的绕组。

通常，交流发电机在使用时可能出现下列故障。

1.发动机在中等转速运转时，电流表指示放电，或充电信号灯不灭，并发现起动困难。

可能原因：

（1）蓄电池和发电机之间的连接导线断裂或脱落，一般发生在发电机“电枢”接线柱部位或导线转折处。有的导线的外表没有破裂，而内部铜线已断开。可将蓄电池电源断开后，用万用表或指示灯逐段检查线断开的部位。发现这种情况后，应更换导线或将其断裂处连接起来，用绝缘胶布包扎或外套绝缘套管。

（2）发电机不发电。发电机不发电的原因很多，通常有以下几种：

1)二极管击穿或内部整流结脱开，不起整流作用。可逐个检查二极管，如发现损坏，必须换新。

2)炭刷在炭刷架内卡住，发电机不激磁。这只要用万用表测量发电机外部的“磁场”与“接地”接线柱的电阻值就可知道。如果测得的电阻值与规定的电阻值很接近，说明是正常的。如果电阻量不出来，欧姆表没有指示，则说明激磁回路不通，除激磁回路可能断路外，通常是炭刷在炭刷架内卡住。发生这种现象时，应将发电机拆开（如炭刷在发电机外部拆装的，则只须拆开有关零件），检查炭刷是否卡住。如发现炭刷发卡，可能是炭刷架变形。如果一时没有新炭刷架的话，则可用锉刀或其他工具将炭刷架孔发卡处扩大些，或在砂布上将炭刷的发卡部位磨去一点，直至炭刷能在炭刷架孔内自由移动。注意：如果炭刷架是由增强尼龙或其他玻璃纤维塑料制成，则在发卡处必须用锋利的小刀将其切除，

而不能用锉刀，因用锉刀则愈锉愈毛糙，炭刷仍要发卡。如果是脏物引起发卡，则必须清除干净。如果炭刷已磨损过多，以致不能与转子轴上的滑环正常接触时，则必须换用新的炭刷。一般炭刷已磨损三分之一高度时，应予更换。国产交流发电机用的炭刷有二种牌号，一种为 T_1，另一种为 DS52，这二种炭刷都可以使用。如果无这种规格的炭刷时，也可用一般的电化石墨炭刷自行制作，炭刷的尺寸是5×7×14毫米。如果炭刷线断裂，磁场也不通。

（3）转子的激磁绕组不通电。这也可用上述方法检查。如果用万用表检查“磁场”接线柱与“搭铁”接线柱，回路不通，炭刷又没有发卡现象，则把发电机拆开将万用表的两试棒搭转子的二个滑环（如图108甲）。如果回路不通，通常是激磁绕组两端在滑环的焊接处脱落，也有可能是激磁绕组引出线的转折处断裂。如果焊接处脱落，则可重新焊接。如

图108甲　检查激磁绕组是否通路

图108乙　检查激磁绕组是否搭铁

果引线断裂，则找到断裂处后，接一条导线，用绝缘套管套上，注意不使其与爪极相碰。

再把万用表的试棒一端搭滑环，另一端搭转子的轴或爪极，如图108乙，万用表应无读数。如果万用表指示电阻值为零或有一定的阻值，则说明激磁绕组有搭铁现象，应及时修理。

（4）定子绕组相间短路或搭铁。定子的三相绕组由于长期在大负荷下工作，到一定时间后，导线的漆层就会老化，使漆层剥落，可以引起相间短路，发电机就不发电。这时就必须把绕组拆掉，重新嵌线。有时定子槽绝缘破裂，会引起绕组搭铁，发电机也就不发电。

检查槽绝缘是否搭铁，在制造厂是用550伏交流电进行试验。在使用部门修理时可用220伏交流电，串联一个15～25瓦左右的灯泡进行试验。试验时，试棒的一端搭绕组的任

何一相接头，另一端搭定子铁芯。如果灯泡亮，说明槽绝缘的某一部分已击穿。在试验过程中，要仔细观察绕组与铁芯各部接触处，在搭铁处会有火花。找到搭铁的部位后，用工具把搭铁处的绕组撬开，重新填上绝缘纸或再浸一次绝缘漆后烘干，仍可继续使用。如果无220伏交流电试验设备，则可用万用表检查（如图109）。万用表的一条试棒搭在三相绕组任意引出线的一端，另一试棒搭在定子铁片上，这时万用表的电阻一档应无读数。

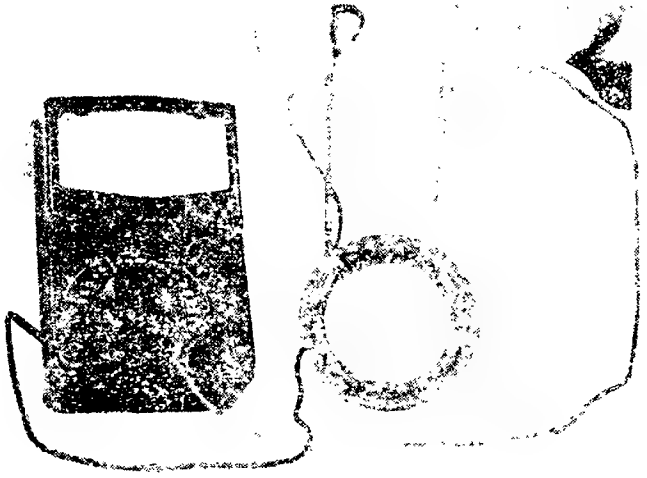


图109　检查定子绕组是否搭铁

检查三相绕组是否通路也可用万用表，把万用表的二条试棒轮流搭在三相绕组引出线的接头，以检查其三相之间是否通路。由于相间的电阻值是很小的，一般万用表很难读出准确的读数。把万用表放在$R\times1$档，指针读数在1欧姆以下，通常是正常的。如果试验时有一端不通，则可能是电线接头与绕组引出处脱焊，也可能是中性抽头连接处脱焊，把

脱焊处重新焊牢即可。如果焊接处没有脱焊，则可能是绕组的导线断裂。

（5）转子的爪极转动。这个故障一般不易发现（除非松动已很严重），需仔细观察爪极在轴上的位置才能发现。这种故障是制造厂质量不好引起。爪极在轴上的压装应该是很紧的。正常的转子在使用过程中是不会松动的。如果爪极在轴上稍有松动，则爪极内表面与磁轭表面之间就有间隙产生，激磁绕组产生的磁通就在这里漏掉，到定子的磁通就大大减少，定子绕组感应的电动势也就大大减小，不能产生足够的电压对蓄电池进行充电。

（6）调节器有故障。如调节电压过低，触点烧蚀，以及调节器内磁场回路线头断开或脱焊，使发电机激磁回路不通。可用万用表检查“火线”接线柱与“磁场”接线柱之间的电阻值（注意：应先拆下车上接到调节器这二个接线柱的导线），万用表应指示在零位。如果不通或阻值很大，应逐段检查。如调节器第一对触点烧蚀、氧化，则接触电阻增加，相当于在激磁回路增加了电阻，会影响发电机的输出。这种情况，对交流发电机来讲，特别明显。因为交流发电机激磁绕组本身的电阻值不大（比直流机小），外部接触电阻的增加对其影响就较大。如发现触点已氧化，则应用银砂纸打磨光。

（7）传动皮带打滑。皮带使用久后就会伸长松弛。如皮带太松，发电机就带动不起来，尤其在发电机有负载时，所以发电量不足。

2.电流表指示有时充电，有时不充电，很不稳定。

可能原因：

（1）传动皮带过松，有打滑现象。发电机在打滑瞬间，转速降低，电压下降，充电电流减小或不充电。须调整皮带

松紧至合适程度。

（2）蓄电池至发电机“电枢”接线柱的导线连接不可靠或将要断裂。可逐段检查，排除故障。

（3）发电机内部接线不可靠，有松动处。

（4）滑环积污，炭刷磨损过度，炭刷弹簧压力减小，引起炭刷与滑环的接触不可靠。炭刷弹簧的压力要在一定的范围，一般正常的弹簧压力在200～300克之间。如果压力太小，将造成炭刷与滑环接触不良；如果压力太大，会造成炭刷过早磨损。如发现弹簧断了或已失去弹性、生锈等，则应更换。一般炭刷弹簧是用φ0.4毫米的弹簧钢丝绕制，可以自己制作。

（5）调节器有故障，工作不稳定。

（6）电流表有故障。

3.电流表长期指示大电流充电。如充电电流长期大于10安培，蓄电池过充电，电液很快蒸发，将使蓄电池过早损坏，失去工作能力。

这主要是由调节器故障所引起。

（1）调节电压过高。须用电压表检查，如果调节电压超过规定值，则必须重新调整至规定范围内。电压的测量可以在发动机中等转速时进行。将电压表的正试棒搭在调节器“火线”一端，负试棒搭在调节器的底座。

（2）调节器线圈末端脱落，失去调节作用。可打开调节器盖子仔细检查，重新焊牢。

（3）第二级触点氧化或沾污。双级触点式调节器的第二级触点闭合时是短路发电机激磁绕组的，当其表面氧化或沾污时，使接触电阻增加，达不到短路激磁绕组的目的。而当其闭合时仍有激磁电流流过，使电压升高。

4.充电电流很小，汽车在低速时不充电。

可能原因：

（1）二极管损坏一个或两个。可拆开发电机逐个检查。

（2）定子绕组有一相连接不良或脱开。

（3）滑环积污，炭刷与滑环接触不良。

（4）调节器调节电压过低。

（5）皮带打滑。

5.发电机运转时有响声。

可能原因：

（1）传动皮带太松或磨损，运转时皮带晃动。须调整皮带张力或换用新的皮带。

（2）滚珠轴承损坏。

（3）转子与定子相碰。这也可能是轴承损坏引起的。

（4）滑环上有污物。发电机运转时炭刷在滑环上跳动。

6.发电机在空载时有电压，当接入负载时发电机电压急剧下降，接近于零。

这种现象通常是由定子绕组匝间短路所引起。在定子绕组内有若干匝或一匝线圈短路，电流就在短路匝间流动，使发电机的功率下降很多。短路匝间的电阻很小，电流很大，短路匝会过热，使其绝缘破坏或完全烧损。

7.发电机有烧焦气味。

可能原因：

（1）由于二极管损坏，引起一相或二相绕组烧坏。必须更换二极管及烧坏的绕组。

（2）转子与定子相碰。

8.发电机附近的一段电线束烧坏。这有二种情况：一种是从发电机“电枢”到蓄电池之间的电线烧坏。这是由于二极管有一个从其管座上脱落后碰到元件板与发电机外壳之间，使蓄电池通过它大量放电，造成与此有关的导线烧坏。

另一种是双级触点式调节器的二对触点烧坏熔接在一起。这种情况比电线束烧坏更为严重。因为蓄电池的电通过调节器火线到触点后搭铁，由于此电路通过点火开关，故有时也会把点火开关烧坏。

遇到上述情况发生时，应立即把蓄电池电源线拆开。找到引起短路的部位，并加以排除。然后根据烧坏导线的情况进行修理。如烧得不严重，把电线束包扎的外皮剥开更换被烧坏的那条导线。如烧坏得严重，则需更换整条电线束。

9.接通电源开关或点火开关后，充电信号指示灯不亮（国外进口汽车大都有充电信号指示灯）。

可能原因：灯泡的接触不良或灯丝断了。首先检查灯丝是否断。可把连接到调节器的复合插座拔开。找出引到指示灯的一个接线插片（或圆形插柱）。接通电源开关后，把此插片引一条导线接到车身任意搭铁处，如果指示灯亮，则说明调节器内部搭铁不良，或充电指示继电器的触点接触不良。可用万用表检查从指示灯引线到调节器底座之间的电阻值。如电阻值很大或根本无指示，则肯定是调节器内部有毛病，可逐段检查。如果指示灯不亮，则说明灯泡的灯丝断了或与灯座接触不良。只能从仪表板处拆下灯泡进行检查并更换新的灯泡。

10.充电电流表摆动。这是调节器故障引起的，有下列几种情况：

（1）在各种转速范围内都摆动，说明调节器工作不稳定，电压控制不平稳。需检查衔铁与铁芯之间的气隙及触点间隙。

（2）在高速时电流表摆动。一般是第二级触点不干净引起，可用银砂纸擦净或用干净的有一定强度的纸擦一擦，即可恢复正常。

（3）转速在某一区域里指针摆动。一般是衔铁与铁芯之间的气隙太小。可松开衔铁支架，用量规按规定数值重新调整气隙，如图110所示。

发电机与调节器的充电系统在实际使用中还可能出现其他故障，要视具体情况逐个分析。

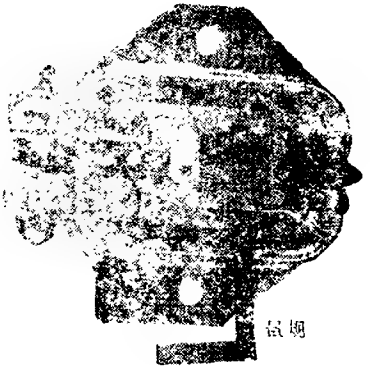


图110　调整衔铁与铁芯间的气隙

第三节　汽车交流发电机的保养与修理

交流发电机的保养与修理可与汽车的保养同时进行。一级保养时只要清洁发电机表面各部，并检查各接线柱有无松动。

当汽车行驶3万公里左右时，应拆开发电机检修一次。拆散发电机时应先将后端盖油封上的3个紧固螺钉拧下来，并将带在轴尾部的紧固螺母拧下，再拧下发电机的4个（有的发电机是3个）对销螺钉。然后用鄘头轻击发电机的驱动端盖和后端盖，发电机的定子与转子就能分离，见图111。如果有的发电机轴承与轴配合得很紧，轻击发电机端盖不能分离时，应当用拉力器把轴顶出来，如图112。如猛击端盖，会使铝合金的压铸件损坏。

发电机拆开后，用压缩空气或皮老虎吹净发电机内部灰尘，并用汽油清洗各部油污及滚珠轴承。轴承如不灵活，应

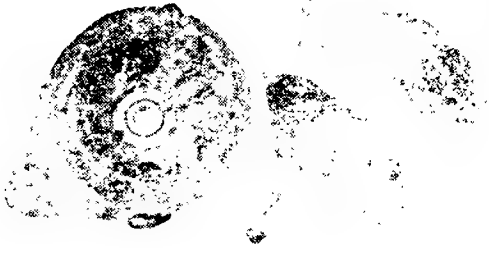


图111　拆开的交流发电机

图112　用拉力器拉出后端盖

予更换。再检查内部各接线头接触是否可靠。清洁滑环，并用“００”号砂布打光。检查炭刷磨损程度，如磨损量超过规定或弹簧失去弹性，都应更换。各部经检查，如都正常，则将轴承加上润滑脂（用１～３号复合钙钠基润滑脂）后，即可装复。注意：不能用一般黄油代替轴承用的润滑脂，否则，轴承工作一段时间后，温度升高，黄油即会漏掉，致使轴承过早损坏。

发电机装复时应先将炭刷盖板上紧固螺母去掉，把炭刷取下来后，再将转子装到发电机内，拧上轴尾部的紧固螺母，装上油封盖及发电机对销螺钉后，再将炭刷装到炭刷架内，盖上盖板后即装复完成。用手转动转子，检查是否灵活。如果转动灵活，即可进行试验。

另一种交流发电机，炭刷架在发电机内部，应先将炭刷装到炭刷架内，用φ1毫米左右的钢丝，自后端盖的小孔内

插到炭刷架内，如图113所示。然后将转子与驱动端盖总成套到炭刷端盖总成内，拧上前后端盖的对销螺钉，抽出装炭刷用的钢丝，再装上轴承盖，检查转动是否灵活，发电机即装配完成。

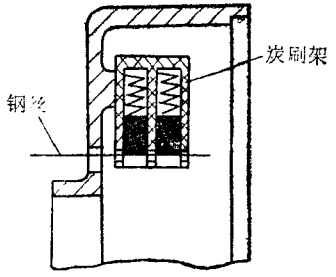


图113 炭刷的装法

（一）转子的修理

交流发电机的转子是电机的磁场部分。激磁绕组的电流是靠两个滑环引入的。滑环如果不光滑，或表面有烧损现象，要影响发电机的正常工作。因此，如果滑环不光滑，就需要修理。烧损如不严重，可用“00”号砂布打光。烧损如严重，或已被尘土刮伤，则必须在车床上精车，表面愈光滑愈好。如果铜环已经不能再车（要露出塑料），则必须换用新的滑环。注意：不能用手工局部砂光滑环表面，如果用手工局部砂光滑环表面，则滑环会失圆，工作时会造成炭刷跳动，引起火花，导致更加快的烧蚀滑环表面。

转子经检查后，如激磁绕组确已烧坏，则必须拆开转子，按规定线径及匝数重新绕制。如无规定线径，则可用接近规定的线径代替。拆开转子时，应先将激磁绕组引线与滑环间的焊锡熔掉，然后放到手压机或油压机上将轴从爪极上推出来。激磁绕组绕好后，再放到爪极内，将原来的轴再压入爪极。这种修理只能进行一次，如第二次推出时，必须将轴重新滚花，磨至比原来推出时尺寸大0.03～0.05毫米，否则旧轴压入爪极后，轴会在爪极内松动。

爪极及滑环压在轴上后，应检查其轴的摆差，如图114所示，要求轴的径向跳动不大于0.05毫米，如超过此值，应将

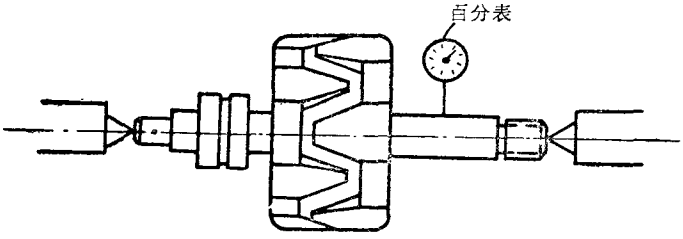


图114　检查轴的摆差

轴校直。

转子的激磁绕组经重新绕制后，须浸绝缘漆，再在烘箱内烘干。漆的牌号与烘干时间，与一般电机修理时用的浸漆工艺相同。

（二）定子的修理

交流发电机的定子可能产生故障的地方是绕组。绕组由于机械碰伤或老化，会发生匝间或相间短路，或因槽绝缘破坏会发生搭铁。更换绕组时，应先将每相绕组分成若干个元件。36槽 6 对磁极的发电机，每相绕成 6 个元件，每个元件的匝数及线径，根据每种发电机的电压等级及功率确定。如现在国产的 350瓦发电机，每一元件为 13匝。 6 个串联的元件绕好后，再嵌入定子槽内。 绕制相绕组的夹具如图 115所示，可以放在手工绕线机上绕制。为使三相绕组的引出线与整流元件板上的接线柱接线方便起见，三相绕组引出线相互位置要接近90°，以便在元件板上接线，每相绕组的起点隔 9 个槽。

（三）二极管的检查方法

在第二章中已讲到二极管的正向及反向特性试验方法。在没有专用设备条件下，也可以用普通的万用表来检查二极

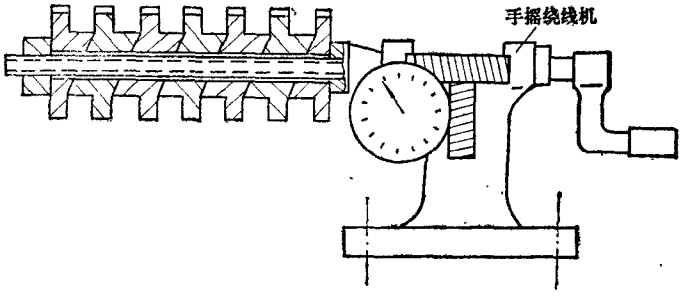


图115　绕制相绕组的夹具

管的好坏。

检查二极管是否击穿，可以先在发电机外部初步用万用表检查。把万用表的电阻档放在$R\times1$档。将发电机从汽车上拆下来，用万用表的（－）试棒搭发电机的外壳，（＋）试棒搭发电机的“电枢”接线柱。如果电表指示的值在30欧姆以上，说明二极管未被击穿。如果电表指示值在10欧姆左右，说明二极管有一个被击穿成通路，也可能是同一极性的（即装在外壳的或装在元件板上的）两个二极管被击穿。如果电表指示的电阻值接近于零或等于零，说明装在外壳上的二极管及装在元件板上的二极管各击穿一个。如果二极管不是击穿，而是内部整流结脱开，形成断路，发电机不能发电，则在电机外部用万用表检查不出来，必须拆开发电机逐个检查二极管。

逐个检查二极管时，应先将定子每相绕组与二极管的联接线脱开。参阅图116，检查装在发电机外壳上的三个二极管时，将万用表的（－）试棒搭发电机外壳，（＋）试棒分别搭三个二极管的中间引出线，万用表指示的读数应在8～10欧姆范围内。如果此数值很大，说明二极管内部整流结已脱开。反过来，把万用表的（＋）试棒搭发电机外壳，（－）

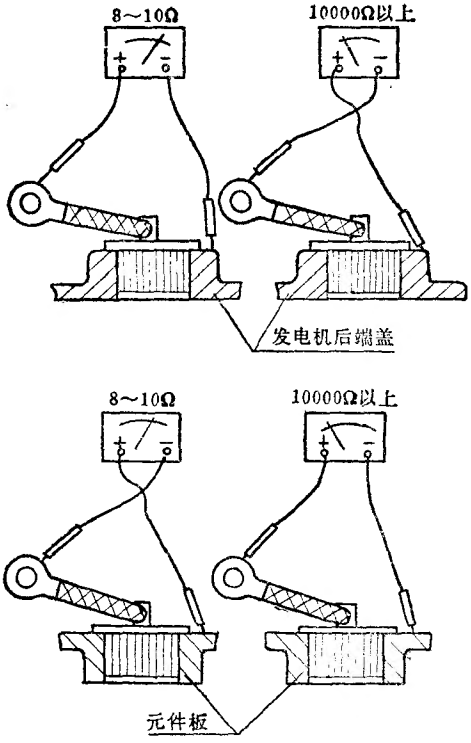


图116　用万用表检查二极管

试棒分别搭三个二极管的中间引出线，电表指示读数应在10000欧姆以上。如果二极管已击穿，则此读数就等于零。装在元件板上的三个二极管是相反方向导电的，测试结果应相反。

发现二极管损坏时，必须换新。对新装上去的二极管必须注意极性。一般在二极管的底部有标记，黑色标记是负极的，应装在发电机端盖上；红色标记是正极的，应装在发电机内部的元件板上。如果无标记，应该用万用表按上述方法

检查，判断其极性。

注意：上述测试出来的数值随万用表的规格不同而变化。用通常使用的500型万用表测量，上述这些数字是符合的。

将损坏的二极管从发电机上拆下来，将新的二极管装上去，都必须用专用工具，放在虎钳上或台钻上，慢慢退出来或慢慢压进去，不能用錾头猛敲。二极管与其孔的配合必须合适，不能太紧或太松。如果配合太紧，会损坏二极管，使二极管产生变形；如果配合太松，在汽车行驶时，二极管会

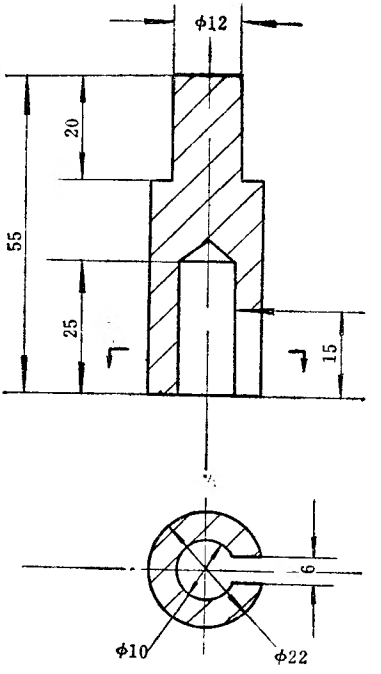


图117　二极管压套

从发电机内脱落。所以如果配合太松，可用0.1毫米厚的紫铜皮填在二极管底座周围；如果配合太紧，则必须用铰刀把孔适当铰大一些。

拆装二极管所用的工具见图117及图118。图117是压套，用于把二极管压到发电机后端盖或元件板上。图118是顶套，用于把二极管从发电机后端盖或元件板上退下。图中尺寸仅供参考，根据发电机尺寸的具体情况可另行规定。

将二极管压进发电机的后端盖或元件板中和退出来的方法，见图119及图120，可以在钳工用的虎钳上进行，也可以在钻床上垂直方向进行。将二极管压进去时，一定要放稳，切不可偏斜，否则会使二极管变形压坏。

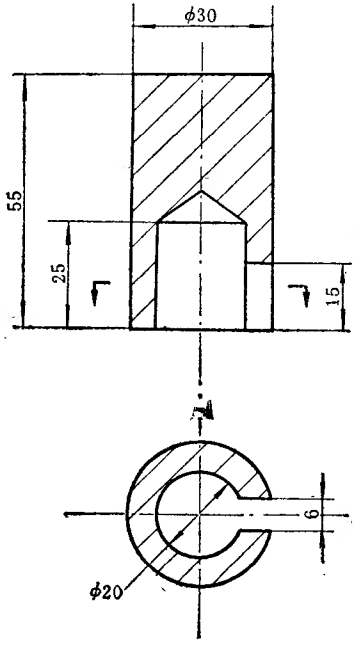


图118　二极管顶套

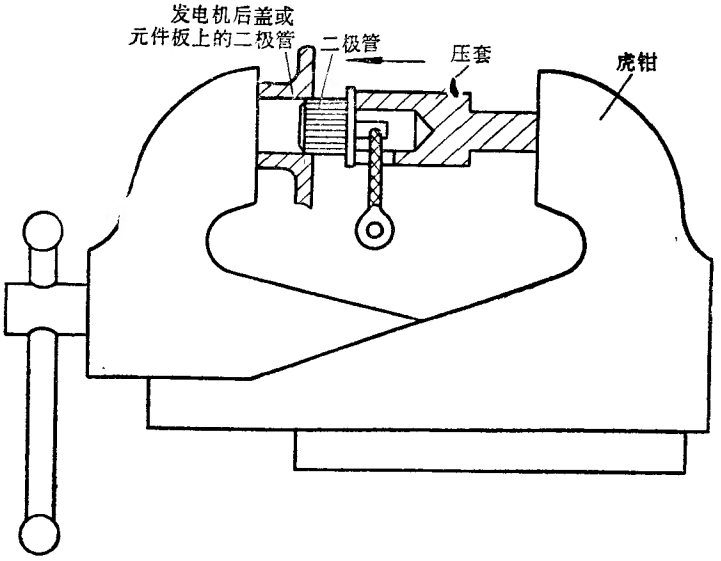


图119　压装二极管的方法

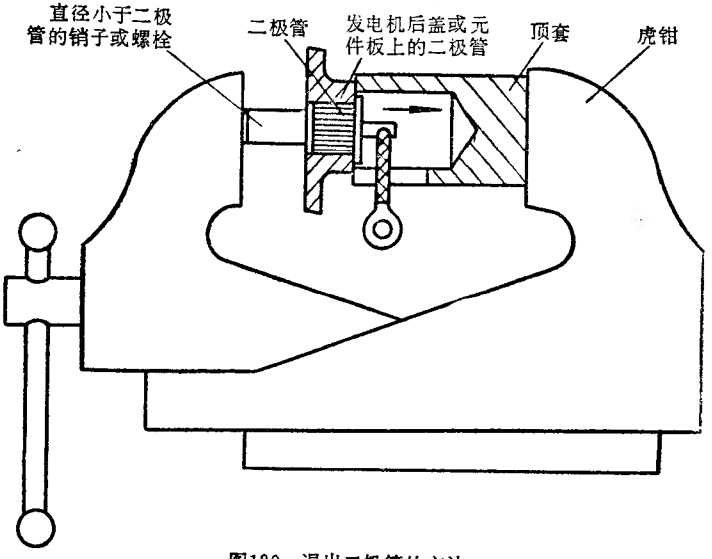


图120　退出二极管的方法